

La signature stratigraphique de l'Anthropocène

Pierre FLUCK

Docteur-ès-sciences, Institut Universitaire de France

Professeur émérite à l'Université de Haute-Alsace

Sommaire

Anthropocène : un concept géologique iconoclaste !	2
I. Vers une typologie des entités stratigraphiques de l'Anthropocène.	4
A. L'industrie dans la fabrique de l'Anthropocène	4
A.1. Déchets industriels contrôlés	4
Résidus des sites d'extraction / résidus de lavage / résidus de la métallurgie / paysage hérité des traitements chimiques / industries du feu / résidus de la chimie / boues rouges de l'aluminium / décharges industrielles / restes de l'industrie du sel	
A.2. Déchets industriels non contrôlés	13
A.2.1. Gradualistes	
A.2.1.1. Effluents véhiculés par les cours d'eau. Les additifs aux alluvions des rivières.	
A.2.1.2. La pollution des sols et des nappes aquifères par les métaux lourds.	
A.2.1.3. Les unités stratigraphiques néoformées déposées dans les fonds marins.	
A.2.2. Catastrophiques	
B. Déchets non industriels	19
B.1. Des unités stratigraphiques issues de la destruction des habitations humaines	
B.2. Les décharges domestiques	20
B.3. Les décharges de produits manufacturés	21
C. Entités stratigraphiques liées à des aménagements volontaires	22
Polders / cultures en terrasses / charbonnières.	
D. Entités stratigraphiques non anticipées/intentionnées	24
Sédimentation dans les lacs naturels / dans les lacs de barrage / assèchement de mers intérieures / modifications de la pédosphère / déforestation.	
II. Des unités stratigraphiques négatives ?	26
A. Les mécanismes de l'érosion	27
La nature érode. L'Homme aussi érode ! L'Erzberg de Styrie / les ocres du Lubéron / les îles des phosphates / les exploitations à ciel ouvert / le paysage brisé.	
B. Concilier les paradigmes des géologues et des archéologues	30
III. Une minéralogie de l'Anthropocène ! p.m.	33
Quid de l'hydrosphère ?	33
Conclusions	34

« Là-haut, avec l'usine nucléaire de la Hague, on a détruit pour toujours la terre. La nature subit et ne doit plus rien comprendre. Le béton comme les pesticides démantibulent la terre pour toujours. » Paul Bedel, *Nos vaches sont jolies parce qu'elles mangent des fleurs*, 2018

Avertissement : cette contribution expose une tentative de conciliation des points de vue des géologues et des archéologues sur la problématique de l'Anthropocène. Davantage portée par une réflexion épistémologique et par les propres expériences de terrain de son auteur, elle se veut rédigée dans un langage simple accessible aux non-spécialistes. Elle est à prendre comme un essai qui n'a pas la prétention d'une revue exhaustive des manifestations stratigraphiques de l'Anthropocène, et n'en évoque certaines que de manière elliptique.

Anthropocène : un concept géologique iconoclaste !

Le concept improvisé dès 2000 par le chimiste de l'atmosphère Paul Crutzen et le biologiste Eugène Stoermer¹ portait en germe de quoi heurter les esprits des géologues². Pour ces derniers, la face de la Terre telle qu'elle s'offre à notre regard résulte d'un processus de façonnage à travers l'épaisseur des temps géologiques, divisés en ères, périodes, époques, étages. J'aime à représenter, à l'adresse de mes étudiants, sur un ruban gradué l'échelle des temps géologiques. Pour cela nous nous mettons à dérouler, sur la distance de 45,40 mètres, notre mètre-ruban de 50 mètres : cette mesure correspond à l'âge de la planète (4,54 milliards d'années). A cette échelle, l'apparition de l'Homme qui coïncide à peu près avec le démarrage du Quaternaire se positionne à 2 centimètres du zéro de notre ruban ; le début de l'ère Chrétienne (ou la conquête des Gaules...) se situe alors à deux centièmes de millimètre. Un groupe compact de chercheurs font démarrer l'Anthropocène avec la Révolution industrielle, cela fait 2 microns ; d'autres situent cet événement dans le milieu de XX^e siècle avec l'affirmation du nucléaire et *la grande accélération*, d'autres encore font précéder ce temps d'un « paléanthropocène ».

Toute réflexion autour d'un concept se doit de s'appuyer sur sa définition. Une époque géologique caractérisée par l'empreinte des réalisations humaines perçue comme formatrice de la surface de la Terre, au même titre que le sont les agents naturels, ne peut démarrer *ex abrupto*. L'emprise de l'Homme s'est affirmée très graduellement, s'accéléralant de façon exponentielle au fil de l'Histoire : l'apparition de l'Anthropocène est donc un cas d'école de faux problème.

Mais au préalable, nous nous interrogerons sur le pourquoi de ce désamour de la part de géologues encore nombreux à l'égard du concept. En effet quel que soit le positionnement dans l'épaisseur des temps du « coup d'envoi » de cet Anthropocène, ce dernier ne couvrira

¹ « Geology of mankind », *Nature*, 2002

² Le concept a des antécédents. Nous pouvons citer Buffon (*Les époques de la Nature*), G.-P. Marsh (1864), A. Stoppani (1873), A. Pavlov (1922)...

au mieux que quelques centièmes de millimètres de notre ruban, peut-être même seulement quelques microns. Comment donc un laps de temps aussi insignifiant pourrait-il prétendre trouver sa place dans la puissance de la géologie en tant que force façonneuse de la surface de la planète³ ? Ne serions-nous pas en face d'une forte poussée d'anthropocentrisme ?

La définition d'une époque⁴ est une problématique d'ordre géologique et chacun sait que l'histoire de la Terre est régie par des *processus* mécaniques et thermiques et par la génération ou la corruption de minéraux. Ces processus sont ceux de l'érosion (auxquels l'hydrosphère et l'atmosphère prennent leur part), de la sédimentation, des transformations physicochimiques liées à l'enfouissement, des manifestations des magmas. Une analyse qui voudrait se cantonner dans le « tout minéral » cependant se révélerait par trop réductrice, elle ne résiste pas à un examen plus approfondi. Le travail des chercheurs en effet a conduit à admettre, dans la construction de la lithosphère, une participation significative de la biosphère. De tous temps, les êtres vivants ont « construit » des entités stratigraphiques. Prenons-nous au jeu d'en énoncer quelques exemples simples qui prendront leur place dans un petit « quiz » à l'adresse des élèves ou des apprenants (l'animateur masquera bien sûr les réponses !) :

- des bactéries, des algues monocellulaires, ou d'autres microorganismes, ou encore des coquillages ou des coraux, construisent des calcaires ;
- des bactéries friandes de fer construisent les minerais de fer rubanés du Précambrien, ou le « fer des prairies et des marais » du Plio-Quaternaire de nos régions tempérées ;
- les colonies de radiolaires construisent des radiolarites, les diatomées des diatomites ;
- les algues construisent des stromatolithes ;
- les forêts construisent du charbon ;
- le plancton construit du pétrole ;
- les vertébrés construisent des phosphates...

Nous saisissons à travers ces phrases, jouant sciemment sur la répétition de leur verbe, à quel point la biosphère peut se révéler constructrice de la géosphère !

L'Homme ne représente somme toute qu'une fraction de la biosphère, partageant cette qualité avec les différents êtres énumérés dans ce « quiz ». Oserions-nous alors nous aventurer à pousser ce raisonnement jusqu'à l'extrême, considérer le terme ultime (?) de l'évolution biologique comme constructeur de couches géologiques ? Mais nous relevons

³ Il n'en reste pas moins que, selon V. Vernadski (1926-29) « l'homme devient une force géologique à grande échelle »

⁴ Nous choisissons « époque » plutôt que « période », parce que les entités temporelles qui comportent le suffixe « cène » sont des époques qui s'inscrivent dans le Cénozoïque.

d'abord de grandes disparités dans ces « pouvoirs lithificateurs » des êtres vivants : certains se « nourrissent » de la substance minérale pour se développer, d'autres la fournissent après leur mort voire leur décomposition. Ce qu'ont mis en place les sociétés humaines qui puisse être qualifié d'entités stratigraphiques – à défaut de « lithologiques » –, des créations intentionnelles ou pas, ressortit cependant davantage de l'intelligence de leurs activités et se démarquent par-là de la plupart des cas précédents. Même si beaucoup d'animaux construisent leur maison et organisent leur territoire.

Dans le développement qui suit, nous tenterons une typologie des vestiges matériels laissés par l'homme, qui viendraient postuler à un rapprochement avec des entités stratigraphiques comparables aux formations de la croûte terrestre. L'industrie affirmant très vite un rôle moteur dans la production de tels vestiges, notre propos rejoindra immanquablement les préoccupations des chercheurs en archéologie des mondes industriels⁵.

I. Vers une typologie des entités stratigraphiques de l'Anthropocène.

Une première catégorie d'entités embrasse la vaste cohorte des déchets engendrés par les activités humaines. Certains sont le résultat d'accumulations intentionnelles, d'autres de processus non contrôlés. Certains ont été déplacés et repositionnés par des agents naturels (vent, eau). L'exercice équivaut à peu près à la recherche de preuves stratigraphiques de l'Anthropocène ! Nous aborderons dans un deuxième temps des concepts moins familiers des géologues, qui cependant trouvent une résonance plus particulière auprès des archéologues, matière à une réflexion épistémologique sur les différences et points communs entre les deux disciplines. Ce glissement des sciences de la Terre vers les sciences de l'Homme sera l'occasion d'ouvrir un certain nombre de questionnements, source de prolongements que nous aborderons en fin de cette contribution.

A. L'industrie dans la fabrique de l'Anthropocène

OU

Les tribulations des déchets industriels.

A.1. Déchets industriels contrôlés.

Au premier rang se présentent **les résidus des sites d'extraction**. Surgissant au creux des paysages, les plus spectaculaires d'entre ces déchets sont sans doute les monceaux de

⁵ C'est ainsi que nous préférons désigner la discipline usuellement connue comme « archéologie industrielle ».

stériles extraits des exploitations minières, appelés *haldes* dans les régions d'influence germanique [illustr. 1]⁶. Les carrières en produisent pareillement⁷, qui se composent des fragments lithiques considérés comme déchets. Le volume de ces tas de résidus s'étale entre des extrêmes, depuis les « taupinières » résiduelles du travail alluvial de l'étain, à Bozi-Dar en Bohême, des monticules de quelques mètres [illustr. 2], jusqu'à ces gigantesques terrils du charbon occupant plusieurs centaines d'hectares, et d'une élévation de plusieurs centaines de mètres [illustr. 3]. Au plan lithologique, ce ne sont rien d'autres que des tas de cailloux, un peu comme des éboulis de versant ou des coulées de solifluxion. Des matériaux cependant compactés par le poids du recouvrement ; et le plus souvent, une matrice faite de cailloutis plus fins, voire d'un remplissage sablo-limoneux, sert de liant à la fraction lithique, un peu comme une *brèche* en pétrographie. Leur cartographie réalisée par les sociétés minières elles-mêmes, par les services géographiques des régions concernées, par les instances soucieuses de l'« après-mine » ou encore par des archéologues [illustr. 4], en fait des entités aux formes parfaitement délimitées. On peut donner pour exemple l'incroyable « essaim » de 433 *haldes* plaqué contre les versants du cône montagneux appelé Cerro Rico, à Potosi, en Bolivie [illustr. 5] : par excellence, un paysage néoformé ! Il en va de même à Mednik Hill, sur le versant tchèque des Monts Métallifères, un « petit Potosi » en miniature [illustr. 6].

Les *haldes* sont des trésors d'investigation archéologique. Théodore Haupt, sans doute le véritable fondateur de l'archéologie minière, estime que l'archéologie joue à l'adresse de la science et de l'ingénierie des mines un rôle comparable à la stœchiométrie pour la chimie, à la paléontologie pour la géologie et à cristallographie pour la minéralogie. Attardons-nous un instant sur cette entité *halde* : elle est selon Haupt à la fois un monument et une collection, elle offre « à la manière d'un miroir » des informations sur l'encaissant du gîte, la tenue des terrains qui le composent, les gangues, les minerais, l'importance du réseau souterrain, les processus minéralurgiques et métallurgiques (pour le cas particulier des *crassiers à scories* que nous aborderons plus loin), ainsi que sur les minerais exploités juste avant l'abandon, souvent ceux des parties les plus profondes de la mine (ils occupent l'horizon le plus superficiel de la halde)⁸...

En milieu de moyenne montagne, bien des *haldes* sont partiellement recouvertes par les colluvionnements de versants, ainsi en maints endroits plusieurs mètres d'épaisseur de matériaux de recouvrement naturels sont venus les « cacheter », en particulier à l'époque du « petit âge glaciaire ». Les unités stratigraphiques anthropiques de l'Anthropocène se retrouvent ainsi interstratifiées entre les formations naturelles.

⁶ FLUCK P., Les haldes dans le paysage minier. In : "Vivre au Moyen-Age", Strasbourg, 1990, p. 287-293 ; FLUCK P., La transformation des paysages par l'industrie des métaux, à travers l'Histoire, *Rencontres Transvosgiennes* 2017, 2, p. 5-33.

⁷ Tout comme les tunnels, mais les déblais des tunnels obéissent généralement à une configuration linéaire.

⁸ HAUPT Th, *Bausteine zur Philosophie der Geschichte des Bergbaues*, Zweite Lieferung, *Die Archäologie und Chronik des Bergbaues*, Leipzig, A. Felix éd., 1866, 76 p.

Les *haldes* subissent très naturellement une évolution « en interne », abandonnées aux caprices de la nature ou bien aux initiatives des hommes. Certaines brûlent « en dedans », comme nous le verrons dans l'article « Une Minéralogie de l'Anthropocène »⁹. Les unes, reconnues comme entités à valeur archéologique voire patrimoniale, font l'objet de mesures de protection, d'autres disparaissent, « balayées » dans les actions de réaménagements des territoires. Un traitement tout à fait particulier s'applique aux mines d'uranium. En Saxe autour de Schneeberg, l'énorme nébuleuse des *haldes* de la *Wismutgesellschaft* nous ramène à cette étrange société qui, sous couvert d'extraction de bismuth, fournissait l'essentiel de l'uranium destiné à l'arsenal nucléaire de l'union soviétique, entre 1946 et 1990. La récente mise en sécurité de tels lieux a occasionné des dépenses inouïes, des déplacements de collines entières de débris, des mises en place de systèmes dédiés pour piéger le radon, des recouvrements par une pellicule de morts-terrains. Un cas d'école de remaniements, de remobilisations de masses stratigraphiques considérables et totalement artificielles [illustr 7]¹⁰.

Dans certaines régions minières de bords de mer, les déblais miniers sont tout simplement engloutis. C'est le cas en Colombie Britannique (molybdène), en Alaska (à la mine d'or de Juneau), au Groenland (à la mine de plomb et de zinc de Maarmorilik), en Turquie, en Papouasie-Nouvelle-Guinée, dans les fjords de Norvège¹¹. Les volumes annuels de déblais ainsi soustraits à la vue de l'observateur s'étalent de centaines de milliers de tonnes à des millions de tonnes. Jøssingfjord, un cas d'étude norvégien, a été le lieu d'« enfouissement », dans une tranche de profondeur atteignant 100 mètres, des stériles extraits d'une mine de titane active de 1960 à 1994. Les impacts de cette gestion des déchets se déclinent dans les domaines de l'économie, des sociétés et des environnements, les exposer dépasserait l'objectif de cet article.

Proches des *haldes* viennent se positionner les **résidus de lavage** des minerais – on dit aussi de *minéralurgie* –. On désigne ainsi des accumulations de matériaux issues de la préparation manuelle, mécanique ou hydraulique des minerais sortis de la mine. L'eau joue dans de telles installations un rôle universel – sauf bien sûr dans les milieux arides –. Aussi ces résidus, véritables sédiments produits par l'Homme, en viennent-ils à édifier des étendues épaisses et vastes en superficie, qui encombrant volontiers des fonds de vallées entières. Ils peuvent alors être cartographiés à l'image des terrasses alluviales de nos cartes géologiques, et sont quelquefois eux-mêmes sujets de phénomènes d'érosion [illustr. 8]. La plupart du temps, les matériaux ayant été bocardés au préalable, ils se composent de fractions lithiques de fin module, sables et limons, volontiers lités et déterminant ainsi quelquefois de véritables « mille-feuilles » stratigraphiques [illustr. 9]. L'illustration 10 montre une telle « halde de résidus de lavage » du vaste district plombifère de Linarès (Espagne). Mais

⁹ Complémentaire de celui-ci, du même auteur, également sur HAL Archives en ligne.

¹⁰ [https://de.wikipedia.org/wiki/Wismut_\(Unternehmen\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Wismut_(Unternehmen))

¹¹ CORNWALL N., *Submarine tailings disposal in Norway's fjords. Is it the best option?* Thesis for the fulfillment of the Master of Science in Environmental Management and Policy, Lund, Sweden, 2013

l'exemple le plus édifiant est peut-être à rechercher dans les résidus de la technique romaine de l'exploitation des paléo-placers aurifères de Las Médullas dans la province espagnole du León. Nous y reviendrons un peu plus loin.

On relèvera que tous les cas d'étude cités depuis le commencement de cet exposé se composent quasi-exclusivement de matériaux géologiques peu ou pas transformés : des roches et des minéraux. Leur assemblage cependant ne constitue pas à proprement parler des entités pétrographiques, excepté pour les résidus de lavage lithologiquement identitaires, qui relèvent des lois de la sédimentation et constituent de véritables roches sédimentaires. Et si l'on peut consentir à ce que les puristes des géosciences réfutent la participation à des entités naturelles de la plupart des dépôts ainsi provoqués par l'action des hommes, dans le cas précis des dépôts de lavage ceux-ci s'intègrent dans les processus proprement géologiques, par le biais d'un transport de matière contrôlé tributaire du mouvement de l'eau. Mais dans tous les cas, les matériaux entrevus jusqu'ici composent des unités stratigraphiques authentiques, mesurables et cartographiables.

Les résidus de la métallurgie. Les usines de la métallurgie de réduction, comme aussi celles de la métallurgie de transformation, produisent d'une manière très générale des déchets appelés *scories*. Leur nature pétrographique, comme aussi leur texture, en fait d'excellents marqueurs qui orientent le chercheur dans l'interrogation des procès industriels mis en jeu dans ces fonderies. C'est ainsi que les scories antiques et médiévales [illustr. 11] se caractérisent par la présence, nageant dans une phase vitreuse, de cristaux de *fayalite* – un silicate de fer – en forme de minuscules baguettes, alors que les hauts-fourneaux plus récents dans l'Histoire émettent des *laitiers* de structure vitreuse [illustr. 12]. Conduite en maintes régions dans une démarche de prospection archéologique, la cartographie de ces déchets réunis en *crassiers* ou *ferriers* a procuré des outils d'analyse de la transformation par l'Homme de ses territoires, tout comme elle a conduit à la localisation de batteries de fours ou de fonderies. La multiplication de telles prospections a abouti à débusquer, en Europe, des milliers de sites de métallurgie antique et médiévale du fer. Ces accumulations souvent plus discrètes que les *halles* minières, car plus étalées, édifient pourtant de réelles couches stratigraphiques, composées d'artéfacts qu'on pourrait assimiler à des « pierres artificielles ». À partir du Moyen Âge central en Europe, les fonderies sont inféodées à la force hydraulique et s'installent le long des cours d'eau ; il en va ainsi de la fonderie d'Echery, près de Sainte-Marie-aux-Mines, qui s'éloigne des mines pour se délocaliser au pied de la montagne (datation par radiocarbone de l'intervalle 1261-1284)¹². Il en résulte un transport des scories, sorte de « fossile directeur » pour la recherche archéologique, entraînées par les cours d'eau. Ce constat nous avait déterminé en 1989-90 à prospecter les lieux de métallurgie des non-ferreux des Vosges centrales (France de l'Est), révélant une population tout à fait inattendue de près de 55 fonderies d'époque renaissance¹³ [illustr.

¹² FLUCK P., GAUTHIER J., BAUER D., BOUVIER J.-F., CLERC P., DISSER A., FLORSCH N., OTT J.-F., Altenberg, autopsie d'une mine médiévale. *Archeologia* 517, janvier 2014, p. 46-57

¹³ FLUCK P., *Manuel d'archéologie industrielle*, Hermann, Paris, 2017, 522 p.

13]. Les *crassiers* modernes se manifestent par des volumes bien plus considérables, comme aux mines de cuivre de Rio Tinto (Espagne) [illustr. 14] ou de Røros (Norvège) [illustr. 15]. En Toscane, Simonin¹⁴ tente d'approcher l'importance des *ferriers* antiques de bord de mer : pour l'un d'eux 600 mètres dans la grande dimension de son étendue, pour une épaisseur moyenne de 2 mètres.

Les fonderies de transformation produisent de même des scories ou des laitiers d'une grande diversité, fonction des métaux ou alliages mis en jeu, mais aussi des process et des types de fours – l'énorme tas dit *Cokrouri* à Mulhouse en est un exemple emblématique [illustr. 16] –.

Leçon : cette catégorie de résidus se composent pour l'essentiel de « pierres artificielles », qui – l'analogie est intéressante ! – évoquent à s'y méprendre les laves des volcans, fréquemment mêlées de matériaux de surface comme des cailloutis ou des terres. Comme dans les cas précédents, ces authentiques *artéfacts* – au sens des archéologues – remplissent des unités stratigraphiques parfaitement cartographiables.

Le paysage hérité des traitements chimiques. Soucieuse d'extraire économiquement le cuivre des amas pyriteux de Rio Tinto (Andalousie), la compagnie exploitante anglaise d'alors résolut, à partir de 1845, à faire usage du processus d'effleurissage suivi du *grillage*¹⁵. Les pyrites étaient entassées en petites montagnes tronc-pyramidales appelées *teleras*, que l'on faisait entrer en combustion en présence de sel. Cette calcination prolongée sur plusieurs mois donnait naissance à des sulfates et chlorures variés en même temps qu'elle concentrait le cuivre. Opération suivante, l'arrosage incessant et répétitif des pyrites résiduelles entassées en tas appelés *terreros*, libérait un liquide précieux : des eaux sursaturées en sels de cuivre. Ces solutions cuivreuses acides se rassemblaient dans des bassins, où elles réagissaient sur des ferrailles immergées : le cuivre se déposait par plaques sur le fer à la faveur d'une réaction chimique appelée *cémentation*.

À présent que les effluents gazeux ont cessé de contaminer la biosphère, il reste de ces opérations des étendues considérables de boues, terres, glaciis chargés de pyrite décomposée, résidus de lixiviation¹⁶, cailloutis, scories, une sorte de vaste fresque colorée composant un paysage totalement surréaliste [illustr. 17 et 18]. On peut s'en procurer une première approche à l'examen des photos satellitaires. La « vallée » de résidus industriels qui descend de Rio Tinto vers la mer peut être assimilée à un énorme laboratoire « naturel » d'étude de cet héritage passif de l'industrie. Couplée aux documents historiques, aux

¹⁴ *La Toscane et la mer Tyrrhénienne*, 1868

¹⁵ On a pu calculer que chaque jour, un quart de siècle durant, 272 tonnes de soufre sous forme d'anhydride sulfureux se répandaient dans l'atmosphère autour de Rio Tinto.

¹⁶ Comprenez ce mot comme englobant l'ensemble des techniques de dissolution partielle, ou lessivage, par des solutions qu'on met à filtrer dans un milieu donné généralement chargé de substances métalliques.

rapports des ingénieurs des mines, l'approche du terrain se révèle irremplaçable pour développer la réflexion sur le degré d'irréversibilité des dommages causés. En terme de stratigraphie, ces parages offrent, au-delà d'une grande diversité de contenus, un télescopage d'entités de l'Anthropocène étalées de l'Antiquité à nos jours¹⁷.

Les résidus des industries du feu.

Les industries du feu (céramique, verrerie...) ont laissé des déchets quelquefois envahissants, le plus souvent concentrés dans des localisations spécifiques peu éloignées des lieux de production. Ainsi par exemple, au voisinage des faïenceries, les « tessonniers » de ratés de cuisson, ou encore de moules dont beaucoup étaient à base de plâtre. Il en va de même pour les usines de production d'émaux, comme à Briare en bord de Loire, où le tas de « ratés » occupe environ 5 hectares, pour une quinzaine de mètres d'épaisseur [illustr. 19]. De telles accumulations ont fait l'objet de sondages ou de fouilles archéologiques, comme à Strasbourg ou à Nevers¹⁸. Les résidus des verreries ou des cristalleries se font plus discrets, ce matériau se prêtant au recyclage. Au plan de la pollution chimique, on relèvera, notamment pour les faïences, l'importance de la fraction métallique présente dans ces déchets, les oxydes étant un composant essentiel dans l'émaillage des céramiques. En Slovénie, dans les parages de la mine de mercure d'Idrija, les amoncellements de tessons de terre cuite incrustés de *cinabre* ponctuent les régions forestières : il s'agit des restes de vaisseaux dans lesquels on pratiquait, à l'époque d'Agricola¹⁹, la distillation du sulfure de mercure [illustr. 20].

... et de la chimie.

Les industries de transformation de matières premières qui font appel à la chimie ouvrent un tiroir d'une grande diversité. Voici à présent une petite revue de quelques cas d'école.

Notre premier cas d'étude s'adresse à une industrie chimique bien oubliée, déjà pratiquée dans l'Antiquité et revitalisée à la fin du Moyen Âge et dans les temps modernes : la production de l'**alun**, un sulfate d'aluminium et de potassium. Les matières premières – à commencer par l'alun naturel – sont diverses et variées. L'obtention du sel à partir de terres alumineuses, de schistes *alunifères* ou de schistes pyriteux met en scène une suite cérémonieuse de protocoles comme l'*effleurissage*, la calcination, la macération, la lixiviation... Ces opérations ont forcément répandu dans l'environnement des lieux de

¹⁷ Manuel d'archéologie industrielle, op. cit.

¹⁸ ROSEN J., *La faïence de Nevers, 1585-1900*, Faton éd, Dijon, 2009, 2 vol .

¹⁹ AGRICOLA G. *De re metallica*, 1^e édition 1556, Froben, Bâle

production des traces à valeur stratigraphique, encore peu étudiées par l'archéologie, telles les boues ou ocre issues des chaudières de lixiviation²⁰.

À **Bouxwiller** (Bas-Rhin), si vous gravissez les premières pentes du Bastberg²¹, vous découvrirez un paysage singulier : une vaste étendue de terres noires plantées çà et là de bouquets de bouleaux [illustr. 21]. En certains points dans ces terres, vous discernerez des petits grains d'un joli bleu, qui ajoutent une touche colorée à ce spectacle de désolation. Car vous vous trouvez là sur les lieux mêmes où se produisait la calcination de *lignites*, donnant naissance à des efflorescences sulfatées, au premier rang desquelles le *vitriol*, un sulfate de fer. On y produisait également cet *alun*, et encore du *bleu de Prusse* – du ferrocyanure ferrique –, du prussiate de potassium – dit aussi *cyanure* – ainsi que de l'alun d'ammonium. Ce dernier exige pour son élaboration des déchets d'abattoirs occasionnant les nuisances qu'on imagine. Les effluents de ces industries s'étalent en de vastes étendues. Des lieux de calcination et de lixiviation des lignites subsistent ces glaciaires de terres noires chargées des sulfates susmentionnés ainsi que de divers composés plus ou moins toxiques.

Notre troisième cas d'école fait intervenir un « déchet » industriel beaucoup plus contemporain, issu du process de concentration du **chlorure de potassium** (la *potasse*). Dans son environnement géologique, donc dans les minerais, ce sel se rencontre intimement mêlé de chlorure de sodium, il convient donc de l'en séparer. L'opération se fait par dissolution à chaud, ou par flottation après broyage²², ou encore électrostatiquement. La concentration du sel comme sous-produit n'étant pas considérée comme rentable... il est mis en tas.

Monte Kali est un terroir de sel d'un blanc de neige, tel un inselberg insolite campé sur les collines des confins de la Hesse et de la Thuringe (un second lui fait écho à peu de kilomètres de distance)²³. Il se compose pour 96 % de NaCl. Sa hauteur atteint 250 mètres, pour une superficie de 100 hectares. Un second terroir lui fait écho à quelques kilomètres d'éloignement.

Une autre industrie de la chimie fait usage de sel gemme et de chaux comme matières premières : les **usines de soude** ou *soudières*. Celles-ci élaborent du *carbonate de soude* selon le procédé Solvay²⁴. Complexes, les réactions chimiques font intervenir l'addition d'ammoniac, recyclé ensuite dans le process. Portés à décanter dans de vastes bassins appelés aussi lagunes, ou *bassins de modulation*, les effluents s'y déposent, en premier lieu le chlorure de calcium résiduel. Les bassins de **La Neuveville-devant-Nancy** et de **Varangéville** occupent 180 hectares en superficie.

²⁰ PICON M., Des aluns naturels aux aluns artificiels et aux aluns de synthèse : matières premières, gisements et procédés, in BORGARD Ph, BRUN J.-P. et PICON M., *L'alun de Méditerranée*, 2005, p. 13-38

²¹ Un haut-lieu de la paléontologie, Georges Cuvier y étudia une faune de vertébrés de l'Éocène.

²² Fixés sur des bulles d'air, les microcristaux de chlorure de potassium surnagent en surface du liquide dans les cellules de flottation.

²³ Voyez sur google earth, faites apparaître la photo satellite, commune de Heringen.

²⁴ On notera que le carbonate et le bicarbonate de soude existent à l'état naturel ; cette espèce minérale appelée *trona* se rencontre au Wyoming, en Californie, en Turquie et dans les lacs salés des milieux désertiques.

Ces bassins ou lagunes nous conduisent à la notion de *champs d'épandage*, un concept qui rassemble une énorme diversité de configurations. Dans bien des cas, ce sont tout simplement les zones déprimées du proche environnement, contrôlées ou peu contrôlées, qui se voient « investies » par la sédimentation des effluents, véhiculés par des eaux dites *résiduelles*. Ainsi les **raffineries** polluent-elles l'atmosphère et l'hydrosphère ; ammoniac, sulfures, phénols, hydrocarbures et métaux lourds diffusent à travers leurs effluents liquides, modifiant le chimisme des aquifères proches. Il en va de même de bien des **cokeries**. Celle de Carling (Moselle) qui s'est aménagée une lagune de 1,5 hectare fut exploitée de 1938 à 1990, les eaux ammoniacales transitant par cette lagune avant leur rejet dans le Merle²⁵. Migrant latéralement, les polluants impactent les sols alentours. La liste en est éloquent : groupe BBTEX (benzène, toluène, éthyl-benzène et xylènes), hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), hydrocarbures totaux (HCT), composés organo-halogénés volatils (COHV), polychlorobiphényles (PCB), métaux, phénols et cyanures... Nous avons évoqué plus haut le *bleu de Prusse* ou ferrocyanure ferrique ; ses « dépôts » se dénombrent par centaines (pour le seul territoire français), la plupart sont des effluents d'anciennes usines à gaz²⁶.

Branche d'industrie lovée dans nos paysages traditionnels, les **tanneries** qu'on croirait débonnaires émettent pourtant – dès le tout début du XX^e siècle – des effluents lestés d'acides, de chloro-méthylphénol et d'un métal de mauvaise réputation, le *chrome*, autant d'ingrédients libérés par les produits utilisés pour le tannage des peaux et la mégisserie, au premier rang desquels l'*alun de chrome*.²⁷

Les boues celluloseuses des **papeteries** se décantent de même dans des bassins aménagés (500000 tonnes pour la papeterie de Condat sur Vézère, en Dordogne). Non réputées pour leur toxicité, elles se prêtent même à une valorisation dans l'agriculture, recyclées comme matériau pour l'amendement des sols.

Un point commun rassemble beaucoup des entités précédentes : elles ont su se faire oublier ! Peu de dépôts contrôlés, déplacés voire disséminés de déchets industriels ont fait l'objet, en leur temps de vie, de consignations topographiques précises. Des documents d'archives d'autant plus précieux, s'ils existent, qu'ils permettent aux sociétés d'aujourd'hui soucieuses de leurs environnements de les localiser pour en gérer l'héritage. Un héritage lourd, « face grise » du legs industriel²⁸.

Les boues rouges issues de la fabrication de l'alumine et de l'aluminium.

²⁵ Base de données BASOL, Ministère de la Transition écologique et solidaire

²⁶ PROFFIT D., *Spéciation et évolution des composés cyanurés contenus dans les résidus industriels issus de la pyrolyse de la houille*, Thèse doctorat INPL, 2002.

²⁷ PERRIN C., *Le développement durable en perspective historique : l'exemple des tanneries*, HAL archives-ouvertes 01470967, 2017. V. aussi Agence de l'Eau Adour-Garonne, *Étude des rejets des substances dangereuses dans l'eau, secteurs de la tannerie et de la mégisserie*, [https://rsde.ineris.fr/doc/Rapport_Final_RSDE_\(130_69_0001\).pdf](https://rsde.ineris.fr/doc/Rapport_Final_RSDE_(130_69_0001).pdf)

²⁸ *Manuel d'archéologie industrielle*, op. cit.

Le traitement des bauxites [illustr 22] par le procédé Bayer au sodium produit des boues rouges²⁹ accumulées dans des bassins de rétention. Ces résidus se composent d'une abondante fraction argileuse qui retient du fer (30%) sous forme d'hydroxyde, de l'aluminium (7%), du titane (6 %), du chrome (0,2%), et une foule d'autres substances dont la toxicité fait débat : soude caustique, chaux vive, fluorures, arsenic, mercure... Il en va ainsi à Ajka en Hongrie (30 millions de tonnes), ou à Gardanne (Bouches-du-Rhône). La vue satellite *google earth* des environs de cette localité laisse apparaître une « grande tache rouge » qui se déploie sur près d'un kilomètre dans sa grande dimension, pour une largeur de 600 m. Mais cette histoire a une suite (v. plus loin, § A.2.1.). À Rousson dans le Gard, un barrage retient 3.900.000 tonnes de boues rouges produites de 1964 à 1984 par l'usine de Salindres.

Les décharges industrielles.

Ce sont des décharges spécifiques, fréquemment éloignées du lieu de production, voire relogées dans d'anciennes carrières, qui rassemblent les résidus solides des *process* industriels. Ces déchets sont classés en « dangereux », « non-dangereux », « inertes ». En Alsace, certaines entreprises n'ont eu aucun scrupule à déverser leurs poubelles – et leurs résidus de lindane – dans des gravières, les lieux même où « affleure » la nappe phréatique ! Le cas du stockage dans d'anciennes carrières déclenche de fréquentes polémiques ; ces déchets viennent y combler une « unité stratigraphique négative » (v. plus loin, partie II). Mais surtout, il nous faut considérer qu'aucune formation lithologique n'est totalement exempte de fracturation : il en résulte, dans les régions soumises à la pluviosité, des potentialités de contamination de l'environnement rocheux, voire de nappes aquifères plus éloignées. Certains déchets sont qualifiés d'ultimes (mercure, produits cyanurés, arsenic...), c'est le cas de la décharge souterraine d'**Herfa-Neurode** (Hesse), stockée depuis 1972 à 800 mètres de profondeur dans une ancienne mine de potasse. Une initiative similaire, en Alsace, appelée *StocaMine*, s'est soldée par un dénouement désastreux.

L'**électrométallurgie** génère des résidus qui se rassemblent en décharges, dont beaucoup menacent les nappes phréatiques voire les cours d'eau adjacents. Il en va ainsi dans les vallées des Alpes et des Pyrénées³⁰. Ces accumulations dont certaines dépassent 100.000 tonnes se composent de scories, laitiers, réfractaires, terres et poussières d'épurations, qui hébergent des métaux variés, notamment de l'arsenic et du chrome, mais aussi du nickel, de l'aluminium, du baryum, du titane et bien d'autres, voire des terres rares.

Mais il est un cas bien plus commun d'accumulation de déchets industriels au voisinage des usines traditionnelles, celles qui optèrent pour la transition énergétique de la vapeur. Les foyers des **machines à vapeur** des fabriques de la révolution industrielle dégorgent des

²⁹ https://fr.wikipedia.org/wiki/Boue_rouge

³⁰ <http://www.robindesbois.org/les-casserolles-de-pechiney-2003/>

résidus de la combustion de la houille appelés *mâchefer*. Ces tas de mâchefer que l'on s'efforce de camoufler pourtant font partie intégrante du paysage de nos grandes usines.

Des restes inattendus de l'industrie du sel : les briquetages.

Au-delà de ces exemples contemporains de l'impact des activités industrielles sur les milieux, il nous paraît opportun de rechercher des cas d'étude qui nous seraient légués par des périodes anciennes de l'Histoire. Nous nous rendrons sur les berges de la Seille, une petite rivière de Moselle. Trois bourgs s'y égrènent : Vic-sur-Seille, Moyenvic et Marsal. À Marsal par exemple, dans une aire mesurant 700 mètres sur 480, les terrassements du XIX^e siècle eurent à traverser une accumulation de débris de terre cuite rouge qu'on appela *briquetage*. Une pléiade d'auteurs émit des hypothèses des plus variées pour les expliquer, jusqu'à ce que Keune, au début du XX^e siècle, en vint à acquérir la certitude scientifique que l'explication est à rechercher dans la production du sel. Ces *briquetages* atteignent 11 m d'épaisseur sous Moyenvic, on estime leur tonnage global en ce lieu à 2 à 3 millions de mètres-cubes ! La datation les situe du *Hallstatt* (ou premier Âge du fer) à la *Tène* (ou deuxième Âge du fer). Reprises en 2004, les fouilles sur le site de Marsal³¹ ont livré une grande quantité de matériaux et d'artéfacts (débris de fours, résidus de combustion, fragments de cuvettes, boudins de terre cuite, éléments liés à la vie quotidienne...) ainsi que les infrastructures des fours semi-enterrés, qui servaient à l'évaporation des saumures. De tels briquetages s'égrènent également tout au long des côtes du littoral breton et vendéen³².

Conclusion partielle à A.1

Les entités évoquées en A.1 sont, pour la plupart, limitées dans l'espace, parfaitement cartographiables sans que s'impose le recours à l'analyse, mesurables : ce sont des accumulations, allant du simple « film » à l'édifice tridimensionnel, plaquées à la surface de la géosphère. Presque toutes s'intègrent au petit univers des « friches industrielles ». Beaucoup ont en même temps valeur de sites archéologiques, certaines même aspirent au label « patrimoine culturel ». Une autre caractéristique de ces volumes de déchets, éminemment protéiformes, est leur grandeur multiscalaire. Ils répercutent par là l'extrême disparité des échelles des industries qui les ont produits.

A.2. Déchets industriels non contrôlés.

A.2.1. Gradualistes.

³¹ "L'or blanc des Celtes", *Archéologia* 413, 2004.

³² GOULETQUER P.-L., Briquetages et sauneries, *Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest*, 1970, p. 135-153.

Nous entendons par ce qualificatif les déchets dont le dépôt s'accroît graduellement, par la continuité des apports tout au long de la vie de l'entreprise, un peu à l'image du *gradualisme* en géologie. L'impact sur l'environnement de ces décharges cependant échappe presque totalement au contrôle des sociétés exploitantes.

A.2.1.1. Effluents véhiculés par les cours d'eau.

Les additifs aux alluvions des rivières. Imaginez des résidus de lavage, ou des *crasses*³³ de métallurgie, ou des dépôts issus de processus de la chimie, qui aient été entassés en bordure de rivière. Le cas est fréquent. Des décharges de tels effluents dans le cours d'eau pourront survenir dès lors que le courant affouille les berges. Elles sont à l'origine de la modification du chimisme des sédiments dans la vallée de l'Idrijca, en Slovénie³⁴. **Idrija** était l'un des grands centres mondiaux de production du mercure [illustr. 23]. Dans les premiers temps, la distillation de ce métal, à partir de son sulfure naturel, se produisait dans des vaisseaux en céramique, qui nous ont laissé en maints points des environs de cette localité des monceaux de tessons plus ou moins incrustés de produits mercuriels [illustr. 24]. À partir du milieu du XVII^e siècle cependant, le *process* de l'obtention du mercure a évolué ; sa préparation s'est vue centralisée dans l'usine d'Idrija. La fonderie moderne du XX^e siècle accélère encore la dispersion atmosphérique du mercure, véhiculé par les fumées et les vapeurs jusqu'à saturer une aire de l'ordre de 100 km². Appliquées contre les berges du fleuve, les haldes minières et les crassiers de fonderie sont quant à eux soumis au lessivage : il en résulte un étalement des dépôts mercuriels dans les sédiments fluviatiles sur une cinquantaine de kilomètres³⁵, jusqu'au golfe de Trieste dont les eaux sont réputées contaminer la faune marine. Des sédiments modifiés par apports chimiques caractérisent une entité stratigraphique qui se démarque des alluvions fluviatiles géologiques : voilà la marque de l'Anthropocène.

Dans les régions productrices ou transformatrices de métaux, il est fréquent que des coupes stratigraphiques naturelles du terrain, produites par les affouillements d'une rivière ou d'une autre manière, livrent au regard des successions de strates entièrement déterminées par les conséquences des actions anthropiques. En Moselle, un pays de sidérurgie, des examens stratigraphiques ont été appliqués aux alluvions des cours d'eau ; à Neuves-Maisons, ces profils montrent des « lames » (de minces feuillets) de cendres alternant avec des scories ou des *néoformations* de sulfate de fer³⁶.

Conclusion partielle. Les dépôts décrits en A.2.1.1 se caractérisent par une extension linéaire ; ils modifient la nature lithologique des alluvions par addition de substances, ou

³³ C'est ainsi que certains désignent les scories, qui constituent des *haldes* à scories ou *ferriers*

³⁴ GOSAR M., DIZDAREVIČ T., MILER M., *Environmental influences of mercury ore processing*, Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, 2012, 75 p.

³⁵ Les sédiments contiendraient env. 30.000 tonnes de Hg, cf *Programme des Nations-Unies pour l'Environnement, plan d'action pour la Méditerranée, État du mercure dans les pays méditerranéens*, en ligne

³⁶ YVON J., communication orale, Journées d'Études « *Les friches industrielles, point d'ancrage de la modernité* », Sévenans, 29.09.2005.

déposent des unités stratigraphiques qui viennent se juxtaposer aux alluvions naturelles ; ces dernières quelquefois les recouvrent à nouveau : les couches de l'Anthropocène se résument alors à des intercalations.

A.2.1.2. La pollution des sols et des nappes aquifères par les métaux lourds.

Véhiculés par les vents, les métaux lourds issus des fonderies de la sphère industrielle modifient la signature géochimique des sols et en particulier des **tourbières**, à des kilomètres (voire dizaines de kilomètres) de distance. Si nous choisissons de focaliser notre attention sur de tels milieux, c'est qu'ils jouent le rôle d'enregistreurs privilégiés, que nous pourrions assimiler à des archives. Les feuillets qui en constituent le remplissage stratigraphique se singularisant ainsi par une géochimie qui se démarque des dépôts d'origine purement naturelle. L'analyse, jointe à la possibilité offerte par la méthode du radiocarbone de dater ces piles de sédiments, font de ces entités des laboratoires de choix pour appréhender la charge en métaux lourds des territoires industrialisés. Un cas d'école se localise dans le massif du Mont Lozère³⁷ ; là, l'étude des tourbières est venue appuyer la redécouverte d'une pléiade de fonderies d'altitude liées à des mines métalliques suffisamment anciennes (XI^e et XII^e s.) pour n'avoir pas laissé de traces dans l'Histoire écrite.

Dans un périmètre plus restreint autour des *haldes* ou, surtout, des fonderies et de leurs crassiers, le lessivage par les eaux pluviales s'accompagne de même d'un transport des métaux lourds, sous forme d'ions en solutions. Ceux-ci se déposent alors dans les parties aval des bassins-versants en se combinant pour donner naissance à des espèces minérales spécifiques (on parle de *spéciation*) venues envahir la *pédosphère*. De tels éléments migrent facilement dans la biosphère. Des analyses conduites sur les plantes, les animaux³⁸ et certains tissus humains (cheveux par exemple), en diverses régions minières ou métallurgiques du globe, documentent l'impact de ces phénomènes sur le vivant et leur portée sanitaire sur les populations.

Ainsi par exemple dans le voisinage de la fonderie de l'Escalette, à Marseille, les teneurs anormales en arsenic, antimoine et plomb de part et d'autre de la cheminée rampante qui court sur la distance de 350 mètres ont été fort justement relevées [illustr. 25] ; du même coup, elles révèlent au chercheur un pan nouveau de la minéralogie, celui des *néoformations*. Par exemple, le plomb se combine à l'arsenic dans une forme oxydée appelée *mimétite*, un arséniate de plomb³⁹.

³⁷ PLOQUIN A., Le plomb argentifère ancien du Mont Lozère, *Archéo Sciences*, PUR, 34, 2010.

³⁸ V. p. ex. FLUCK P. (coord.), *Regio mineralia*, Catalogue d'Exposition (Projet INTERREG, Université de Haute-Alsace), 2019.

³⁹ *Manuel d'archéologie industrielle*, op. cit.

La spéciation organique du mercure en Guyane. Encore autorisé jusqu'en 2005, le procédé d'amalgamation utilisé pour extraire l'or laissait échapper 5 à 10% du métal volatil sous forme de vapeurs dispersées dans l'atmosphère. La gestion des déchets et effluents n'était pas le premier souci des sociétés exploitantes [illustr. 26]. Ce métal se retrouvait alors piégé par la matière organique notamment sous forme de *méthylmercure* produit par les bactéries. A l'aval du barrage du Petit Saut dont le plan d'eau a englouti d'anciennes aurières à ciel ouvert, les teneurs en méthyl-mercure se sont révélées 25 fois plus élevées que dans le bassin-versant amont⁴⁰.

A.2.1.3. Les unités stratigraphiques néoformées déposées dans les fonds marins.

Nous évoquions en A1 les boues rouges de l'industrie de l'aluminium produites par l'usine de Gardanne. Depuis 1966, par manque de place dans les bassins de décantation, elles sont conduites au moyen d'une canalisation sur une distance de près de 50 kilomètres pour ensuite être rejetées dans la Méditerranée, à la profondeur de 320 m ; là... on ne les voit pas ! Il n'en reste pas moins qu'au fond de la mer, une « tache » de sédiment s'étale dans le canyon de Cassidaigne, qui prend la forme d'un nuage d'environ 100 x 40 kilomètres d'emprise⁴¹. Si nous rangeons sciemment au titre des déchets non contrôlés ces rejets, c'est parce que l'ampleur de la « tache » sous-marine et ses conséquences environnementales dépasse ce qui pouvait être raisonnablement escompté.

En Grèce dans le Golfe de Corinthe au-delà de 100 m de profondeur, une zone sismique, de telles boues constituent un « voile » dont la superficie est estimée à 300 km².⁴²

Une problématique voisine réside dans l'immersion de déchets en containers ; le temps faisant son œuvre, ceux-ci perdent leur étanchéité ! Il en va ainsi pour les déchets radioactifs de la fosse des Casquets, au large du cap de la Hague, ou des cimetières de sous-marins nucléaires qui pourrissent à Mourmansk. Le ministre français de la Transition écologique et solidaire n'a-t-il pas, en janvier 2019 à propos du site alsacien de *StocaMine*, estimé qu'on ne pouvait plus retirer les conteneurs de résidus industriels, fragilisés par les ans, des galeries creusées vingt ans auparavant à 600 mètres sous terre à l'effet de les y entreposer ?

A.2.2. Catastrophiques

Dans cette rubrique interviennent les pollutions liées à des événements catastrophiques ; la plupart sont causées par des **ruptures de barrages** de rétention d'effluents miniers, ceux-ci

⁴⁰ VIANÈS P., *Guyane, la ruée vers l'or*. Ed. Terriciaë, Mouriès, 2009

⁴¹ On trouvera aisément sur la toile des sites qui traitent de cette question et présentent des cartes de l'accroissement de la contamination.

⁴² V. p. ex. VARNAVAS S., FRERENTINOS G. et COLLINS M., *Marine Geology* 70, mars 1986, p. 211-222.

venant s'additionner *in fine* par décantation aux alluvions naturelles des rivières, voire déborder dans les régions de plaines ou de marais. Ces dépôts peuvent être considérés comme une sédimentation cataclysmique, comparable aux coulées boueuses ou aux *lahars* liés aux phénomènes volcaniques. Notre premier cas d'étude ne concerne pas exactement des effluents, nous choisissons de le citer néanmoins pour sa signification historique : il se positionne dans le temps à l'aube de la « révolution industrielle du Moyen Âge »⁴³. En Forêt-Noire centrale (Allemagne), un canal d'altitude long de 22 km est tracé en 1284 pour les besoins de l'exhaure des mines d'argent du Suggental, les fonds étant procurés par des actionnaires issus de la bourgeoisie urbaine. Les eaux sont stockées dans une retenue à l'extrémité du canal. Au bout de peu d'années de fonctionnement suite à de fortes intempéries, le barrage se rompt, occasionnant une inondation faisant de très nombreuses victimes et noyant les installations de la mine⁴⁴.

Les exemples qui suivent s'inscrivent dans les temps actuels. Ainsi en Hongrie, nous avons évoqué en A.1. l'usine d'aluminium d'Ajka et ses bassins de rétention de boues rouges. La rupture d'une digue survenue le 12 octobre 2010 eut pour effet de répandre deux millions de tonnes de boues rouges acides jusque dans le Danube, de dévaster sept villages et de contaminer plus d'une centaine de personnes.

Un scénario étrangement récurrent ! En Colombie Britannique, dans le bassin du fleuve Fraser, s'est produite en 2014 la rupture d'un bassin de décantation d'une mine d'or et de cuivre. Quatre millions-et-demi de mètres-cubes de boues métalliques se sont épanchées dans le lac Polley et ont envahi le système hydrographique qui le relaye en aval. On a calculé que l'équivalent de 134 tonnes de plomb ont ainsi trouvé à se loger dans ces nouveaux sédiments. Comment ne pas évoquer de même le « fleuve orange » issu de la mine de cuivre Buenavista del Cobre (état de Sonora, Mexique), chargé de 40.000 mètres-cubes de solutions acides (6 août 2014), ou le déversement dans la rivière Animas (Colorado) de 11.000 mètres-cubes de déchets liquides (arséniés et chargés de divers métaux lourds) issus d'une mine d'or appelée Gold King (5 août 2015); depuis cette « source », les boues métalliques se sont étirées sur 160 kilomètres.

Le Brésil est le troisième pays producteur mondial de fer. Les minières qui jalonnent le « quadrilatère ferreux », entre Belo Horizonte et Ouro Preto, interpellent l'observateur, qui les piste sur les photos satellites. 450 barrages ont été construits à effet de retenir les résidus du traitement des minerais. Le 5 novembre 2015 à Mariana, deux d'entre eux se rompent⁴⁵ ; le site de production appartient à Samarco, une filiale de la multinationale Vale. En seize

⁴³ Sur ce concept, v. GIMPEL J., *La révolution industrielle du Moyen Âge*, Seuil, 1975 ; BRAUNSTEIN Ph., *Travail et entreprise au Moyen Âge*, De Boeck, 2003 ; FLUCK P. in *Regio mineralia*, Catalogue d'Exposition (Projet INTERREG, Université de Haute-Alsace coord.), 2019.

⁴⁴ HAASIS-BERNER A., *Wasserkünste, Hangkanäle und Staudämme im Mittelalter*. Freiburger Beiträge zur Archäologie und Geschichte des ersten Jahrtausends, Rahde/Westfalen, 2001.

⁴⁵ Non par accident, mais des suites de négligence dans la maintenance.

jours, la coulée boueuse⁴⁶ se répand jusqu'à l'océan sur la distance de 650 km, épandant 50 à 60 millions de mètres-cubes de sédiments, privant des centaines de milliers d'habitants d'eau potable. Étrange répétition, un second barrage de l'entreprise Vale s'ébrèche le 25 janvier 2019 à Brumadinho (à moins de 100 km du premier site). Si volume des boues se révèle moindre, les dégâts en vies humaines sont considérables. Ces faits viennent contredire les discours des sociétés exploitantes qui mettent en avant dans un système politico-économique gangrené les mots sécurité et soutenabilité.

Les produits de la cyanuration. Dans la production de l'or la fin du XIX^e siècle, la *cyanuration* a remplacé l'amalgamation pour la concentration du métal jaune : le tournant fut spectaculaire aux mines d'or d'Afrique du Sud dont il signifia le décollage (1887). Toujours en usage dans la grande majorité des exploitations, le procédé provoque occasionnellement des catastrophes à mettre comme les précédents à l'actif du *risque industriel* : faut-il rappeler les 378.000 mètres-cubes d'effluents cyanurés déversés dans le Danube à partir des usines de Baia Mare, le 30 janvier 2000 [illustr. 27] ?

Le nickel de Nouvelle-Calédonie. Île montagneuse et découpée, la Nouvelle-Calédonie est par excellence le pays du nickel, un métal contenu dans ces étranges formations appelées *péridotites*, d'où l'altération latéritique vient le libérer. En conséquence, l'exploitation concerne des gisements de surface ou de subsurface ; en particulier lors du « boom du nickel » (1965-1975), des minières tentaculaires découpèrent les reliefs et les crêtes en y aménageant des terrasses. Les stériles (estimés à un demi-milliard de tonnes) appelés ici *décharges* sont abandonnés de façon désordonnée, le ruissellement entraînant ensuite irrésistiblement les métaux en direction des cours d'eau. L'érosion tropicale humide qui s'empare de ce paysage déjà fortement fragilisé y occasionne de multiples ravinements⁴⁷. La catastrophe du 22 novembre 2016 (coulées boueuses suite à des pluies diluviennes) était donc inscrite dans le risque inhérent à la gestion de ce territoire dans un passé proche.

Au plan de la stricte stratigraphie des couches de l'Anthropocène, ces exemples nous livrent des dépôts d'alluvions très spéciales, au chimisme chargé de métaux lourds, d'extension linéaire épousant les fonds de vallées fluviales. Une analyse comparative de différents cas serait certes informante. Elle exigerait cependant de bien connaître ce que l'on compare, sa réalisation demandant un travail de recherche approfondi, croisant le qualitatif et le quantitatif, les volumes et les poids de matériaux, leur composition pétrographique, les teneurs des effluents et la toxicité des différents éléments venus s'y loger en fonction de leur spéciation.

⁴⁶ Chargée de résidus de fer, l'aluminium et de manganèse, non toxique pour l'homme selon... la société responsable (seuls des millions de poissons sont morts). Certaines sources indiquent des teneurs en mercure, plomb, cuivre et autres métaux lourds.

⁴⁷ Y. MARCHANGELI, mémoire DESS, ingénierie de l'écologie, Université de Corse, 2003

La majorité des dépôts liés à A.1 et A.2 consistent en produits naturels ou peu transformés, à l'exception notoire de la chimie. Il n'en ira pas de même dans la rubrique B que nous allons développer à présent.

B. Les déchets non industriels.

En guise d'introduction, un cas d'école. Quelquefois appelé « la huitième colline de Rome », le Monte Testaccio est une gigantesque accumulation de débris d'amphores, l'aboutissement des contenants universels des denrées alimentaires importées par la cité des siècles durant. Dans cette partie notée B, nous aborderons les accumulations de matériaux liées à des destructions d'habitats, les décharges domestiques et celles de produits de consommation manufacturés.

B.1. Des unités stratigraphiques issues de la destruction des habitations humaines, suivie ou non du déplacement des débris.

L'Histoire et l'archéologie n'ont de cesse que de montrer l'impermanence des réalisations humaines. En tous points du Monde les volumes du bâti se succèdent, se renouvellent, se côtoient quelquefois ; nous assistons *in fine* à une reculée inéluctable des vestiges des périodes plus anciennes, et il en ira de même pour les vaniteuses constructions du monde contemporain. Il est intéressant de tirer ici le parallèle avec les processus de l'érosion, nous n'avons affaire ici qu'à une forme particulière de cette « énergie naturelle » intemporelle appliquée aux constructions humaines ! Ce processus d'abrasion est le fait de guerres (comment ne pas citer le Teufelsberg, à Berlin, un gigantesque tas de décombres), d'aménagements successifs « du territoire », mais aussi et surtout, très simplement, de la cessation des fonctions d'habitation ou d'occupation : les constructions s'abandonnent alors à l'implacable déferlement des éléments naturels (pluies, gel et dégel, tempêtes...), et le nivellement final les fait oublier.

À Besançon s'est tenue en 1992 une exposition intitulée « 20.000 m³ d'histoire ». Elle mettait en lumière les résultats des fouilles archéologiques du parking souterrain de la mairie. Si nous choisissons cet exemple, c'est parce que son titre qui assimile une durée avec une estimation de volume valorise cette énorme unité stratigraphique enfouie : les vestiges de la ville antique. Celle-ci d'ailleurs s'est édifiée sur les traces d'habitats protohistoriques cachetés par des remblais, et les premières couches médiévales du XIII^e siècle recouvrent à leur tour les restes antiques nivelés⁴⁸.

⁴⁸ GUILHOT J.-O., GOY C., 20000 m³ d'histoire, les fouilles du parking de la mairie à Besançon, Catalogue d'exposition, 1992 ; HAL Archives ouvertes 01518047.

Il en va de même des villages disparus de la fin du Moyen-âge, des mottes castrales, des usines des XIX^e et XX^e siècles : de l'immense complexe d'ateliers de préparation mécanique et de fonderies plaqués sur la colline d'Anaconda (près de Butte/Montana) ne subsiste que la cheminée qui toujours coiffe l'élévation du terrain. Combien de villes ont été décryptées par les archéologues, qui se reconstruisent sur elles-mêmes, offrant plusieurs générations d'existences. Pas moins de 12 phases d'occupation ont été mises en évidence pour Çatal Höyük, en Anatolie centrale... Cette thématique éveille le lien organique qu'entretient la caractérisation de l'Anthropocène avec l'archéologie, qui occupe ici une position triomphante. Les archéologues aiment à démêler ainsi la complexité des stratigraphies révélatrices des successions de populations et partant de cultures.

Dans certaines villes détruites par les bombardements de la Seconde guerre mondiale, comme au Havre ou à Nuremberg, une partie des gravats ont été tassés au sol, rehaussant ainsi le niveau des rues ou des jardins publics, aux fins de construire la nouvelle ville « dessus ».

B.2. Les décharges domestiques.

À la différence de la majeure partie de ce qui précède, les déchets domestiques sont par essence *polygéniques*, composés de tous les produits de la palette des consommations des sociétés humaines. S'il n'était le lien avec l'archéologie, on serait en droit de se poser la question de légitimer à ces rebuts des sociétés la noblesse d'un positionnement géologique. C'est là que l'Histoire vient au secours du contemplateur.

Parmi les premières situations qui retiennent l'attention des archéologues, en rapport avec le cadre de vie, se présentent ces énormes maisons en bois et terre qui composaient les villages de l'Europe moyenne aux premiers temps du Néolithique. La terre de la construction était extraite sur place, laissant autour des bâtiments des excavations dans le sol que les déchets ménagers liés à la vie de ces habitants progressivement venaient combler. Très prisés lors d'opérations de fouilles, les dépotoirs font figure de conservatoires « encyclopédiques » de la vie matérielle des civilisations : douves d'un château-fort, tel le fossé annulaire entourant le donjon du vieux Louvre⁴⁹, parages de maisons rurales ou urbaines du Moyen Âge, ou de l'époque moderne, remplissage de puits, tel celui flanquant le donjon du vieux Louvre⁵⁰... De telles fosses font l'objet de relevés stratigraphiques très soignés : voilà bien les couches de l'Anthropocène ! Mais si les dépotoirs médiévaux compactés par le temps font figure d'authentiques « couches », l'observateur se montrera plus circonspect pour les décharges contemporaines encore peu acceptées dans la culture archéologique. La décharge du Thot, à Montpellier, résultat de quarante ans d'accumulation

⁴⁹ Utilisé à la fin du XV^e siècle comme dépotoir ! Cf *Dossier d'Archéologie* 192, avril 1994

⁵⁰ En son fond, une couche d'un mètre d'épaisseur s'est révélée contenir 950 objets métalliques... dont le casque de Charles VI, cf *Dossier d'Archéologie* 192, avril 1994

(1966-2006), remplit pourtant bien une « loupe » en saillie sur la plaine côtière, à l'image d'un terril surbaissé, de 1,2 x 0,6 km pour une élévation de 30 m. Sa surface a été rendue à la nature.

À l'opposé pour des temps très anciens, comment résister à la tentation d'exposer le cas d'école des six mètres (!) d'épaisseur de cendres qui attestent de la permanence *dans la durée* d'une société, repliée dans la grotte de Chou Kou Tien⁵¹ aux heures froides des périodes glaciaires (entre 430000 et 230000 ans). Une occupation marquée du sceau de ses acteurs, appelés *Sinanthrope* à l'époque de leur découverte⁵². Prises en étau dans une stratigraphie complexe qui doit à l'Homme mais aussi à la nature son édification, ces couches de cendres nous amènent à battre en brèche l'apparition brusque et récente de l'Anthropocène.

Si on les considère comme des unités stratigraphiques très spéciales, ces décharges domestiques, qui mobilisent l'appétence des archéologues au moins pour les plus anciennes, génèrent du dégoût pour les modernes, se caractérisent par une extrême disparité de tailles. Ne sont-elles pas directement le reflet à la fois de l'accroissement démographique des sociétés, et de celui de leur appétit, dont on lit la croissance exponentielle, à consommer ? En même temps, elles reflètent les modes d'alimentation, et leur évolution stratigraphique se calque sur celle des matériaux qui entrent dans les besoins des ménages (métaux, céramiques, verre, bois, plastiques...). Enfin s'il est clair que les dépotoirs fouillés par les archéologues trouvent leur rang au sein la classification des unités stratigraphiques, le géologue se montrera beaucoup plus réticent à les considérer comme telles. Une représentation qui regrouperait des deux paradigmes devrait y aider.

B.3. Les décharges de produits manufacturés.

Dans bien des milieux laissés à l'abandon, la nature opère un tri sélectif des matériaux qui remplissent les décharges. Ainsi les matières organiques, dont le bois, ont-elles tendance à se raréfier en proportion de l'âge croissant des « dépotoirs ». Pour le Moyen Âge, à l'exception des endroits gorgés d'eau, le bois et le cuir s'amenuisent en proportion, suivis par les métaux, au profit du verre et enfin de la toute puissante céramique, quasi inaltérable. Le climat impacte cette œuvre de sélection, ainsi par exemple rien ne subsiste de la vie, des biens et des habitats des esclaves employés aux habitations sucrières de Guyane⁵³. Il n'en reste pas moins que bien des lieux révèlent à travers leur fouille l'identité « consumériste » d'une société, comme consommatrice de produits manufacturés. Les sondages pratiqués par

⁵¹ Ou Zhoukoudian, une grotte située à 40 km au sud-ouest de Pékin

⁵² On trouvera des coupes stratigraphiques de cette grotte dans le chapitre de RUKANG W. et SHENGLONG L., in *Les origines de l'Homme*, Bibliothèque pour la Science, 1992, p.112-113.

⁵³ LEROUX Y., AUGER R. et CAZELLES N., *Les jésuites et l'esclavage Loyola : l'habitation des jésuites de Rémire en Guyane française*, Presse de l'Université du Québec, 2009, 294 p.

l'association ALABAMA en bordure d'un cours d'eau reclus de Guyane⁵⁴, sur un site de chercheurs d'or de la charnière des XIX^e et XX^e siècles, ont révélé une foule d'objets dont le catalogue peut s'assimiler à un inventaire à la Prévert. Y figurent gamelles, soupières, bouteilles de médicaments, de Cognac ou de Pernod, flacons Roger & Gallet, Paris, dames-jeannes, pipes, faïences de Sarreguemines et porcelaine de Bordeaux, etc...

Même si l'élément métallique est très présent, tout comme d'ailleurs pour le second XX^e siècle les matières plastiques qui se fragmentent en microplastiques ou nanoplastiques au fil du temps, l'essentiel des décharges domestiques évoquées dans ce point sont considérées comme peu actives quant à leur impact sanitaire direct sur les populations. Il n'en reste pas moins que les *lixiviats* qui y percolent, chargés de matières organiques fermentescibles, représentent des sources potentielles de contamination des nappes phréatiques. Les constats sont plus alarmants encore à l'égard des déchets de l'électroménager et des appareils électroniques, bardés de métaux lourds, voire même de terres rares. Les enquêtes conduites par les chercheurs en sciences de l'environnement montrent à quel point nos organisations sont démunies face aux bonnes pratiques de la déconstruction de ces objets et du recyclage des métaux. Les agissements illégaux règnent en maître, qui aboutissent à d'immenses étendues de déchets toxiques dans les villes du golfe de Guinée, d'Asie ou d'ailleurs. Dans les régions à forte pluviosité, le lessivage de ces montagnes de déchets contamine les nappes et les sols alentours ; les dépôts des substances véhiculées génèrent en ces lieux des glacis assimilables à des entités stratigraphiques nouvelles issues de la modification des milieux naturels.

C. Les entités stratigraphiques liées à des aménagements volontaires

Le mot « polder », littéralement *terre endiguée* apparaît pour la première fois dans une charte de Middebourg (province de Zélande) en 1219. Idéalement, des digues édifiées à marée basse se voient complétées par un arsenal de pompes actionnées par des moulins à vent. On peut être conduit à réfuter le bien-fondé de considérer des « terres » ainsi acquises comme entités stratigraphiques nouvelles, au vu du faible apport de matière et de la transformation somme toute limitée de leur composition. Certains polders cependant sont « nourris » par des apports, cailloutis, sables ou débris. Et il n'en reste pas moins que la poldérisation crée des paysages artificiels, modifiant la carte des régions côtières. Certaines digues remontent au Moyen Âge, c'est le cas en France pour les polders de l'embouchure de l'Authie, en Marquenterre aux confins de la Somme et du Pas de Calais⁵⁵. Pour ce petit territoire, la carte du BRGM consultable en ligne révèle les dates des différentes terres ainsi gagnées, autorisant par là à décortiquer une sorte d'histoire du paysage ; la grande vague des poldérisations y trouve sa place entre 1737 et 1862. Le propos gagne à être élargi à

⁵⁴ SAINT-JEAN D. et PELLET E., *Trésors d'aventure. L'or et l'Amazonie aux côtés de Jean Galmot*, Ibis Rouge éd., 2009.

⁵⁵ Site web <https://fr.wikipedia.org/wiki/Polder>

toutes ces régions côtières où des portions de villes gagnent sur la mer, sur des lagons ou sur des marais (Hong-Kong, Macao, Singapour, Dubaï...).

Dans un domaine plus continental, l'agriculture nous offre des modèles d'unités stratigraphiques qui se présentent à la fois en relief et en creux : les cultures en terrasses. Ces unités stratigraphiques linéaires reproduisent approximativement les courbes de niveau du relief, en lanières concentriques autour des sommets ou des crêtes d'interfluvies. Elles sont « négatives » du côté amont (en creux : on arrache de la matière), le côté aval en remblai revêtant en revanche toute sa matérialité, quelquefois même appuyée par un mur de soutènement. On ne peut s'empêcher de dérouler les panoramas somptueux de photographies des rizières d'Asie du Sud-Est, des Philippines ou encore des cultures du Pérou ou des pays méditerranéens. Ces prodiges de l'ingénierie appliquée à l'agronomie sont également bien souvent des manifestations de la maîtrise de l'hydraulique. C'est le cas tout particulièrement pour certaines salines en milieux de montagnes.

Les vues satellitaires de la face du Monde révèlent les paléo-cultures en terrasses en des régions où elles ont su se faire oublier, comme dans nos terroirs de la *Mitteleuropa*, pour beaucoup liées à la revigoration de l'agriculture après la grande purge démographique de la Guerre de trente ans : recherchez par exemple, sur *Google Earth*, les localités de Raves ou de Coinches, dans le département des Vosges, laissez-vous surprendre par les images. Une variante en est matérialisée par les « rideaux de cultures » qui simulent des terrasses modelées par d'inlassables labours répétitifs, sans qu'il y ait eu intention d'affouiller le versant ou d'aménager une terrasse.

En milieu forestier ou paléo-forestier, les *charbonnières* partagent avec le modèle de la terrasse⁵⁶ l'arrachage et le dépôt des formations de versant, mais concentré autour d'un point, un peu à l'image d'une petite *halde* en forme de monticule. Ce sont des aménagements liés à des besoins de production industrielle, marqués par un travail préalable d'affouillement et de nivellement, qui sert d'ancrage à une succession stratigraphique quelquefois complexe de couches composées de fragments et de poussières de charbon. Décryptée par les archéologues du fait forestier que viennent doubler les anthracologues, celle-ci retrace l'histoire du lieu et de son proche environnement ! La taille modeste de ces plateformes les ferait volontiers oublier, si elles ne venaient se présenter par myriades dans certains paléo-massifs forestiers. Dans ces régions friandes de combustibles en vue de satisfaire leurs artisanats et industries du feu, des densités de l'ordre d'une centaine d'unités à l'hectare ne sont pas rares [illustr 28].

Bien que des plus fragmentaires, cet inventaire enfin ne saurait faire l'économie du très vaste domaine du funéraire, à commencer par les dizaines de milliers de *tumulus* qui parsèment l'Europe celte et anté-celte. Nous indiquons cette piste de réflexion *pour mémoire*. Tout comme les *mottes castrales*, ces collines artificielles qui servirent, entre les

⁵⁶ Mais aussi avec les terrassements de maisons, en milieu de versants.

débuts de la féodalité et les premiers châteaux romans dans la *Mitteleuropa*, d'assise à la construction de forteresses généralement en bois, ou en pierre et bois.

D. Les entités stratigraphiques non anticipées/intentionnées

Dans cette rubrique, nous nous proposons de passer en revue des unités stratigraphiques déposées à la manière de sédiments, qui doivent à l'intervention humaine leur existence sans qu'il y ait eu intention voire même conscience, de la part des sociétés, de les produire. Il en va ainsi des défrichages de forêts en milieux pentés, par exemple aux flancs d'une colline. De telles actions ont comme conséquence une plus grande vulnérabilité des sols, en proie au lessivage par les précipitations. Les eaux de ruissellement transportent alors les particules fines en position de piémont, des dépressions quelquefois occupées par des lacs, comme au pied des Alpes le lac de Paladru⁵⁷. La construction d'un petit village aux alentours de l'an mil, en ce lieu même, qui s'est accompagnée d'un défrichage de la forêt surmontant les bords du lac, eut pour effet de revigorer une sédimentation lacustre de « fines ». Une conséquence tangible s'est manifestée à l'adresse de la faune et de la flore du lac : celui-ci s'est mis à souffrir d'*eutrophisation*. L'azote joue ici un rôle-clé, une trop forte charge du milieu se marquant par une croissance de la population de *diatomées*, modifiant par voie de conséquence la nature des sédiments de fond de lac.

Mais les pièges à sédiments idéaux sont les lacs de barrages aménagés sur les cours d'eau, on estime leur nombre à 800.000, parmi lesquels 60.000 « grands barrages ». Certains furent édifiés voici plusieurs centaines d'années, l'ensemble constituant un corpus d'informations, une sorte d'archive, à la fois sur les phénomènes de l'érosion dans les bassins-versants amont, et ceux de l'accumulation des sédiments qui exhausent les fonds de ces lacs. Ceux-ci reflètent les aléas des climats et l'irrégularité des débits entre crues et étiages, qui peuvent se traduire par des séquences sédimentaires que le chercheur s'efforcera d'interpréter, dans une forme particulière de lecture de l'Histoire. Les dragages et surtout les évacuations par chasses font évidemment office de processus d'érosion violente à l'égard des matériaux précédemment accumulés. De tels sédiments peuvent être testés par profils bathymétriques, ou sondés, ou observés à l'affleurement lors de la vidange de barrages. Complexes dans le détail, ils se composent de matériaux dans lesquels s'est effectué un tri granulométrique ; dans les parties amont et centrale des lacs de retenue se concentrent les fractions grossières⁵⁸, les silts, argiles et colloïdes biogènes occupant le voisinage du barrage, le tout s'organisant à l'image d'un continuum. Tributaires de l'importance du barrage, de l'orographie, de la géologie de la région drainée, du climat, les quantités déposées varient évidemment entre des extrêmes, dans certains cas elles en viennent à « envaser » de façon

⁵⁷ COLARDELLE M., VERDEL E. (dir.), *Les habitats du lac de Paladru (Isère) dans leur environnement*, Documents d'Archéologie Française 40, 1993, 416 p.

⁵⁸ Qui font dans certains cas de valorisation, par extraction des sables et graviers.

significative la retenue. Voilà, par excellence, des piles de sédiments qui ne peuvent que s'inscrire dans une situation que nous appellerions *Anthropocène*.⁵⁹

A l'inverse se positionnent les lacs en passe d'assèchement. Le cas de la Mer Morte est emblématique, la gestion du territoire par la société humaine du XX^e siècle se manifeste ici par une répercussion sévère sur les écosystèmes. Cette mer a régressé d'un tiers du fait du prélèvement des eaux du Jourdain, et de son évaporation dans les usines de production de sel. La mer d'Aral n'est que l'ombre de ce qu'elle a été, la cause résidant dans la gourmandise en eau des plantations de coton de l'Ouzbékistan et du Kazakhstan. Le lac Tchad a perdu 95% de son étendue, on le doit au détournement des fleuves pour les besoins de l'irrigation, par ailleurs sources de conflits sociaux ; mais au-delà, la cause est à rechercher dans le dérèglement climatique générateur de sécheresse, lui-même conséquence de la charge en carbone de l'atmosphère produite par les activités humaines. Pour ces lacs intérieurs, on pourrait parler de « poldérisations » non intentionnelles. Au Kenya, la production industrielle des roses menace qualitativement et quantitativement les eaux du lac Naivasha⁶⁰.

Les modifications de la pédosphère.

Les sols représentent les unités stratigraphiques les plus externes de la géosphère, fréquemment désignées comme *pédosphère*. Il est clair qu'en modifier la composition, par une charge massive de produits additionnels, en transforme la nature, et par là même « fabrique » une unité stratigraphique nouvelle car distincte et entièrement imputable à l'*Anthropocène*⁶¹. On sera tenté de rechercher des analogues dans le domaine de la pétrographie ; certaines roches sédimentaires ont été transformées par *substitution*, ainsi la *silicification* ou la *dolomitisation* des calcaires. En milieu métamorphique dans les zones plus profondes de la croûte, les phénomènes de *métasomatose* traduisent une transformation chimique par apport de matière.

De telles unités stratigraphiques plaquées au sol méritent considération, du fait que les modifications imposées les font distinguer des entités naturelles, par exemple par l'addition de pesticides, d'atrazine ; ou encore d'arsenic – fréquemment sous forme d'arséniate de plomb – pour des périodes plus anciennes, avant l'usage de l'insecticide des *Trente*

⁵⁹ <https://www.encyclopedie-environnement.org/eau/concilier-barrages-transport-sediments/> ; http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/48892/amenat_2000_136_101.pdf ; MALEVAL V., JIGOREL A., La sédimentation dans un lac artificiel. Exemple du lac de Saint-Pardoux, massif d'Ambazac, Limousin, France, *Géomorphologie* 2002, p. 307-319.

⁶⁰ Nous ne détaillons pas les références sur ces questions, qui alertent l'opinion et font l'objet d'un grand nombre d'articles dans la presse et sur la toile.

⁶¹ RICHTER D. deB, Humanity's transformation of earth's soil: Pedology's new frontier, *Soil Science*, 172, 2007, p. 957-967.

Glorieuses, le DDT. Et il en va de même, dans diverses régions du Monde, des modifications des sols liées aux guerres intensives ou aux essais nucléaires, sujet complexe, sensible et pour beaucoup encore tabou... Nous rejoignons ici notre point A.2.1.2. Et à l'inverse de la plupart des « morceaux de stratigraphies » décrits précédemment, qui relèvent davantage de nébuleuses de miettes à l'échelle cartographique, ces unités stratigraphiques néoformées générées par les pratiques agricoles, assimilables à de grands voiles, se caractérisent par leur emprise qui peut s'étendre à des centaines de kilomètres – pensez aux grandes plaines céréalières –! Une différence par rapport aux rubriques qui précèdent réside dans le constat que leur « cartographie géologique » ne pourra pas s'appuyer sur le seul examen visuel : le recours à l'analyse chimique s'impose, tant la spéciation des éléments additionnés peut se révéler subtile.

Des modifications plus anciennes sont celles liés à la pratique de l'*écobuage* (le déboisement par le feu), et cela commence avec les défrichages du Prénéolithique, qui amènent comme résultat une surcharge des niveaux de sols en carbone, sous la forme de parcelles de charbon de bois plus ou moins délité. Voilà à nouveau des couches *anthropogéniques* ! Mais surtout, le déboisement sur sols pentus déclenche les processus d'érosion⁶². Il en va ainsi dans la frange orientale de Madagascar où l'érosion attaque vigoureusement les reliefs, et où les sédiments chargés de boues latéritiques en viennent à envaser des estuaires. Par surcroît, le déboisement impacte fortement l'évolution des climats et fait chuter la biodiversité.

La pratique industrielle n'est pas en reste : l'Islande – qu'on tente aujourd'hui laborieusement de replanter –, l'île d'Elbe et bien d'autres régions ont subi des déforestations massives pour les besoins de la sidérurgie. En Alberta, l'extraction des sables bitumineux de l'Athabasca, dont les photographies satellitaires *Google Earth* dévoilent aux yeux du grand public l'emprise démesurée, se révèle dévastatrice de forêts et de tourbières. En Indonésie, l'industrie de l'huile de Palme est responsable d'un déboisement dramatique, qui ne rechigne pas à attaquer les territoires de parcs nationaux⁶³.

II. Des entités stratigraphiques négatives ?

Dans tout ce qui précède, nous avons évoqué des unités stratigraphiques créées intentionnellement ou involontairement par l'action des sociétés humaines. Elles se présentent les unes en forme de « miettes » qui saupoudrent certaines régions sélectives (les charbonnières !), ou bien de « taches » (les haldes des exploitations minières), de

⁶² V. p. ex. PAUTROT Chr., Érosion et dégradation des sols, *Mém. Académie Nationale de Metz*, 2012, p. 203-221 (en ligne). Un article fondateur est R. FURON, Les problèmes de l'érosion du sol, *Revue internat. de Botanique appliquée et d'Agriculture tropicale*, juillet-août 1948, p. 281-296.

⁶³ Nous ne détaillons pas les références sur ces questions, qui alertent l'opinion et font l'objet d'un grand nombre d'articles dans la presse et sur la toile.

bandelettes concentriques (les cultures en terrasses), de lignes sinueuses (les matériaux véhiculés par les cours d'eau) ou enfin de nappes plaquées au sol ou intégrant un sol existant. Nous allons à présent évoquer la notion d'*unité stratigraphique négative*.

Parler d'unités stratigraphiques négatives fait-il sens ? Les géologues sont habitués à analyser l'existant, le survivant, perçu comme vestige d'un épisode de l'histoire de la Terre. Il n'en est pas moins vrai cependant qu'une partie significative de l'investigation géologique s'intéresse aux phénomènes d'érosion.

A. Les mécanismes de l'érosion

La nature érode. La tranquillité des dépôts sédimentaires impose ses piles de strates dans les régions déprimées qui garnissent la croûte externe. Ces formations se prêtent avec réussite à la confrontation avec les concepts de ruines et de vestiges. Il en va ainsi des reliefs en *cuesta*, ces « côtes » qui confèrent au *Bassin Parisien* son aspect si singulier ; imaginez un escalier fait de très larges marches qui descendent en direction – c'est un paradoxe – des bordures redressées de cette vaste entité géologique et géographique. Ces escarpements (les fameuses *cuestas*) matérialisent les ruines d'une paléo-continuité, comme pour rappeler à notre bon souvenir que cette impressionnante pile de terrains des époques dénommées Trias, Lias, Dogger, Malm etc. s'étendait avec une régularité entêtée en direction d'une région que nous nommons aujourd'hui le Rhin supérieur. La lente surrection de ce môle Vosges-Forêt-Noire au Crétacé puis au Tertiaire a soulevé ces formations à des altitudes incompatibles avec leur durabilité. Implacable, l'érosion s'est emparée de ces couches ainsi fragilisées par leur positionnement en porte-à-faux, pour laisser en saillie ces marches de l'Est – d'authentiques ruines, même s'il ne viendrait à l'idée de personne de les considérer comme telles –, voire même, à l'arrière, des môles de résistance appelés à juste titre *buttes-témoins*. Il en va ainsi de la « colline inspirée » de Maurice Barrès [illustr 29], ou encore du plateau qui sert d'assise, depuis un temps immémorial, à la ville de Langres.

Coutumiers de ces phénomènes d'érosion, mais aussi du transport des détritiques ainsi libérés, et de leur re-sédimentation dans des bassins, les géologues ne raisonnent pourtant pas couramment en terme d'entités stratigraphiques négatives.

L'Homme aussi érode ! L'Homme érode, dans l'aménagement des territoires (la percée du canal de Corinthe, ou d'une autoroute moderne, ou encore l'arasement de 60 millions de mètres-cubes sous Trajan pour doter Rome d'un nouveau forum... [illustr 30]), dans ses mines et ses carrières... Certes sommes-nous conduits à constater que les volumes déplacés par les travailleurs humains n'ont rien de comparable avec l'érosion naturelle qui débarrasse de la face de la Terre des montagnes comme les Alpes. Nous allons développer à présent quelques exemples montrant à la fois la spécificité du résultat de l'action des Hommes, et les

convergences qui pourraient se dessiner entre l'œuvre de l'Homme et le travail de la Nature. La comparaison pourrait se révéler intéressante.

L'Erzberg de Styrie.⁶⁴ En Autriche, la Styrie, pays du fer, héberge un objet bien singulier, l'Erzberg (montagne métallifère) [illustr 31]. Si la plupart des minières dans le monde se présentent sous forme de fosses ovales ou allongées, à l'Erzberg, c'est l'inverse. On se positionne en pays alpin, la montagne culmine (encore) à 1466 mètres, car elle a tout de même perdu 66 mètres dans son abrasion par les exploitants. Le minerai, du carbonate de fer, remplit des amas aplatis, d'une épaisseur de 200 à 300 mètres, plaqués contre les versants. Démarrée à grande échelle à la fin du XIX^e siècle, l'extraction à ciel ouvert a découpé sur trois côtés cette montagne en 44 gradins, qui la font ressembler étrangement aux grandes pyramides... mais une pyramide de 691 mètres ! Certains ont comparé ce paysage anthropique aux cultures de riz en terrasses des Philippines.

Les ocres du Lubéron. Dans le Vaucluse, la chaîne des monts du Lubéron est flanquée, en son versant septentrional, par une zone déprimée dont émerge une suite de petits chaînons accidentés. Ces collines sont criblées d'exploitations à ciel ouvert qui s'égrènent sur un allongement ouest-est d'une trentaine de kilomètres. Cette industrie des ocres a produit des paysages d'aspect surréaliste [illust 32] qui attirent à présent le touriste autour du village de Roussillon, ou dans le « Colorado provençal » près de Rustrel. Ces carrières plus ou moins organisées quelquefois dévorent une colline entière en laissant des formes résiduelles d'aspect ruiniforme. L'ocre, un mélange d'argile (à base de kaolinite), de *goethite* (un hydroxyde de fer) et de poussières de quartz⁶⁵ constitue la matière première d'un procès industriel complexe de purification. L'extravagant paysage de *Las Medulas* (province du León, Espagne) le sublime encore par l'étrangeté des formes produites ; dans ce cas cependant, c'est la force de l'eau parfaitement maîtrisée dans une ingénierie de l'or qui les a – en quelque sorte – sculptées.

L'Erzberg, Rustrel, las Medulas, voilà d'authentiques créations de l'*Anthropocène*. On pourrait y ajouter les déconcertantes signatures des **petites républiques du phosphate**, dans le Pacifique⁶⁶. A Nauru, mais aussi à Banaba ou encore à Makata, l'extraction intensive de la ressource (par millions de tonnes annuelles durant le second XX^e s.) a laissé des aires dévastées, des substrats calcaires à la surface déchiquetée, cariée, criblée de trous ou hérissée d'aiguilles, comme aussi des villes-fantômes... et des monceaux de déchets.

Les excavations à ciel ouvert. Nous venons d'évoquer des sites suggérant une « sculpture » par l'Homme de reliefs montagneux, aux fins d'en extraire la ressource. Voici à présent les authentiques sites « en creux » que sont les mines à ciel ouvert, réunies sous le générique de

⁶⁴ FALSER M.-S., *Der Steirische Erzberg*, Sächsisches Industriemuseum, Deutsches Bergbaumuseum et Technische Universität Freiberg éditeurs, 2006

⁶⁵ TRIAT J.-M., *Les ocres*, CNRS éd., 2010

⁶⁶ Conférence de Georges Calas au Collège de France, 24.03.2016

minières. On pourrait en dresser l'inventaire, les classer en fonction de l'importance du volume excavé, ou de tout un panel d'autres critères.

On pourrait aussi donner comme exemple les mines de cuivre de Rio Tinto, ou de Chuquicamata, au Chili, les « fosses de découverte » de Carmaux ou de Decazeville, les minières de Sardaigne [illustr 33]... La palme de la monstruosité est peut-être détenue par les mines de lignite de Lusace et de Westphalie, conséquence du choix de l'Allemagne d'assurer la transition énergétique par un retour temporaire au combustible fossile... Après leur abandon, ces trous se retrouvent le plus souvent envahis par les eaux, dont le volume restitue en quelque sorte une matérialité à l'unité stratigraphique enlevée. Le Big Hole de Kimberley dont le contour reproduit celui de la cheminée de kimberlite diamantifère s'est mué par ce biais, que relève son histoire si singulière⁶⁷, en attraction touristique d'envergure.

Les trous ou plaies béantes dans le sol parsèment les périodes de l'histoire de l'appropriation des ressources par les sociétés humaines. À travers le Moyen Âge, ce sont des myriades de puits au jour qui ponctuent les affleurements de corps minéralisés, objets d'attentions particulières et de cartographies minutieuses bien souvent aidées, depuis deux décennies, par la généralisation du *lidar* comme technique de prospection archéologique. Autre type de paysage : dans les régions de plaines alluviales, la multiplication des gravières, aussitôt noyées par la nappe phréatique, qui conduit à une « finlandisation » des paysages.

Les phosphatières du Quercy. Comme presque toutes les formations géologiques *tabulaires*, la région calcaire du Quercy offre des terrains *karstifiés*, c'est-à-dire creusés par les eaux souterraines. À l'ère tertiaire, les gouffres de ce pays (des unités stratigraphiques naturelles négatives !) ont fait office de pièges naturels rassemblant d'innombrables carcasses d'animaux. Ces accumulations de matières phosphatées mêlées d'argiles et remaniées par les circulations d'eaux aboutissent ainsi à de véritables gisements de matière première exploités industriellement dès 1865. Ces exploitations consistaient à extraire, à la manière de minières à ciel ouverts, les phosphates d'origine organique, ce qui a conduit *in fine* à restituer la morphologie d'origine des gouffres et grottes aux voûtes quelquefois effondrées dont certaines ont alors des allures de canyons. Il en résulte un étrange paysage [illustr 34] à la fois naturel – émaillé d'environ 160 cavités karstiques colonisées par une végétation très spécifique – et anthropique parce que ces poches sont en même temps des mines à ciel ouvert. L'étude de ces milieux se positionne à la croisée de l'archéologie industrielle, de la karstologie, des problématiques des écosystèmes actuels des milieux humides (le « microclimat » très spécial des fonds de cavités) et de la paléontologie. Un cas d'école d'interdisciplinarité !

⁶⁷ BARI H., Histoires minières du diamant, in BARI H. et SAUTTER V., *Diamants ; Au cœur de la Terre, au cœur des étoiles, au cœur du pouvoir*, Museum National d'Histoire Naturelle de Paris, 2001, p. 92-132.

Le paysage brisé : effondrements et affaissements. Une catégorie à part est encore délimitée par les effondrements miniers⁶⁸. Les plus spectaculaires, qui remontent aux XVI^e ou XVII^e siècle, sont les grandes *Pingen* – des cratères d’effondrement – d’Altenberg, en Saxe, ou de Fahlun, en Suède [illustr 35] ; d’autres plus modernes se marquent par des affaissements « souples » des couches géologiques plastiques, créant des dépressions à présent occupées par les eaux, et qui édifient de nouveaux écosystèmes, comme dans le bassin minier du Nord-Pas-de-Calais et son prolongement en Wallonie.

B. Concilier les paradigmes des géologues et des archéologues.

La tentative développée dans cette contribution peut être assimilée à un défi. Les géologues sont habitués à raisonner à l’échelle de la carte, du territoire, du continent. Les couches de calcaire ferrugineux de l’Aalénien, dans la France de l’Est et le Bade-Wurtemberg, peuvent se suivre sur des centaines de kilomètres. Un examen approfondi de la carte géologique cependant va nous livrer une foule d’entités bien plus restreintes : une lentille de calcaire métamorphique dans une série de gneiss n’occupera que quelques centaines de mètres en étendue, quelques mètres en épaisseur [illustr 36]⁶⁹. On pressent dès lors la grande disparité d’échelle des entités stratigraphiques auxquelles les géologues sont confrontés dans leur quotidien. Dans un bassin de sédimentation lacustre, un feuillet de sel de potasse déposé en une saison ne mesurera peut-être qu’un centimètre d’épaisseur, tout comme une varve de fond de lac ou bien la couche annuelle de sédiment carboné dans une tourbière.

Prenons en considération ce dernier milieu ; le géologue en ce lieu précis vient à la rencontre de l’archéologue : tous deux s’attachent à restituer les climats et environnements des périodes glaciaires et des épisodes interglaciaires. La transition conduisant de la géologie à l’archéologie est certes une question d’échelle, les entités stratigraphiques du géologue occupant bien souvent la petite échelle, celle du millionième de la carte, alors que l’archéologue possède davantage la culture de considérer un « site » comme un ensemble clos (ou semi-perméable) doué d’autonomie. Par exemple une maison. Cette transition vient renforcer l’intime conviction qu’il n’existe aucune différence fondamentale entre les unités stratigraphiques du géologue et celles de l’archéologue. Ce dernier vient offrir à l’investigation une échelle quasi « microscopique », encore que cette considération n’ait pas à intervenir dans l’absolu. L’archéologue n’en a d’ailleurs pas le monopole, peut-être même faudrait-il rappeler les analyses souvent très fines réalisées à l’échelle d’une carrière par les géologues ou les paléontologistes, appliqués à restituer un profil paléoécologique à travers

⁶⁸ Ce que nous avons appelé « le paysage brisé » dans une conférence faite au Collège de France le 24.03.2015, « *L’extraction des métaux à travers les temps : perception sociétale et impacts environnementaux passés et actuels* ».

⁶⁹ FLUCK P., *Métamorphisme et magmatisme dans les Vosges moyennes d’Alsace. Contribution à l’histoire de la chaîne varisque*. Sciences Géologiques, Mémoires, 62, 1980, 248 p.

les marnes et calcaires du lias, ou à faire revivre l'événementiel en orchestrant de véritables fouilles d'un site à ossements de dinosaures, empruntant aux archéologues – quelle audace – leurs méthodes...

Ainsi pour caractériser les matérialités de l'*Anthropocène*, il nous convient de définir des *unités stratigraphiques* en conjuguant les deux modèles complémentaires du géologue et de l'archéologue. Dès lors, n'importe quel site archéologique n'est autre qu'une succession d'unités stratigraphiques documentant l'*Anthropocène* [illustr. 37] ! Certains sites archéologiques hébergent ainsi cinquante, cinq cents ou des milliers d'unités stratigraphiques désignées sous le prosaïque acronyme US, dont nous ferons usage dans ce qui suit !

Mais voilà ce qui est spécifique à la pensée des archéologues : si certaines de leurs couches ou US se sont déposées « à la manière de » sédiments (un sol d'occupation, une inondation, un épandage de déchets de travail du bois, des matériaux de destruction, des résidus d'incendie...), d'autres ont été réalisées bien intentionnellement, reflétant une volonté intelligente (n'en va-t-il pas de même de beaucoup d'habitations du règne animal ?) : un mur est alors considéré comme US « construite ». Un mur manquant, dans une maison détruite ou transformée, comme « US négative ». Aussi les sociétés humaines sont-elles la source de la création d'un gigantesque fatras, ordonné ou enchevêtré, d'unités stratigraphiques. Dès lors et tout en nous remémorant que le champ chronologique de l'archéologie s'arrête hier, nous n'avons aucune raison de faire la différence entre l'entier (une ville), les ruines (un château-fort), l'enfoui (des bases de bâtiments révélés par une fouille) ou des traces plus discrètes de présence humaine (les *terres noires* du haut-Moyen-âge en Europe occidentale). Bien des villes dans son entièreté sont appelées à devenir un jour des entités de l'enfoui. Il existe dans la nature tous les intermédiaires entre le bâti qui vient d'être édifié et les vestiges hors de portée de notre champ de vision car inclus dans le sol, dont s'emparent avec délice les artisans de la fouille en excavation.

Dans certains cas (volcanisme, coulées boueuses, ensablement...), les agglomérations des hommes se retrouvent enveloppées par les formations naturelles dans une logique cataclysmique. Elles se transmutent alors en unités stratigraphiques *fossilisées* de l'*Anthropocène*. Nous pouvons citer pour exemple Akrotiri sous les ponces et cendres du Santorin, Herculaneum et Pompéi, le Tambora (Indonésie, 1815), San Juan Parangaricutiro (Mexique, 1943), Heimaey (Islande, 1973). Ou encore en 2006 le village de Guinsaugon (Philippines) englouti sous une coulée de boue et de roches, elle-même expression de l'*Anthropocène* puisque ses causes sont à rechercher dans la déforestation à laquelle s'est rajoutée la surexploitation minière.

Au final si l'on réconcilie les deux postures du géologue et l'archéologue, nous aboutissons à une expression stratigraphique qui, dans les manifestations de l'occupation humaine de la planète, se marque par une puissante complexification dans l'échelle du détail à travers des myriades de sites, une forme d'entropie qui s'emballe en quelque sorte. Mais surtout, la

question du bâti vient surgir à présent en nous offrant une toute autre configuration : le construit serait donc à considérer comme « unité stratigraphique » !

Considéré par les uns comme « technofossile », comme « couches rocheuses créées par l'Homme » (Jan Zalsiewicz⁷⁰), le bâti s'offre sous un très petit nombre de configurations fondamentales. Dans les villages « monolithiques » d'Afrique [Illustr. 38] ou du Daghestan, chaque maison faite de terre crue battue et compactée pourrait être considérée comme une seule pierre reconstituée. Il en va de même des édifices en béton armé, comme cette usine monolithique « du bout du Monde », à Djupavik (Islande)[Illustr. 39]. Au « monolithique » s'oppose la construction par assemblage usant – sauf pour le bois – de matériaux fréquemment très proches des productions géologiques (pierres, briques...). Au reste, les constructions humaines utilisent fondamentalement des matériaux puisés dans la géosphère, à l'état brut (pierres, terre crue) ou transformé (briques, tuiles, ciment, béton, métal, verre). Pierres artificielles, les briques et le ciment pourtant offrent une composition minéralogique très proche de ce que produit la nature dans le métamorphisme thermique des argiles ou les cornéennes calcsilicatées.

L'archéologie nous invite à assister au spectacle de la génération et de la corruption des réalisations humaines (à l'image de celles de la nature, mais à une toute autre échelle). La question des friches rémanente dans la plupart des sites archéologiques revêt tout son relief, le bâti participe alors passivement à un processus de déconstruction pour lequel l'homme pour partie, mais aussi la nature sont responsables. Les friches, voire les ruines ouvertes à la vue ou englouties sont un état intermédiaire entre les réalisations humaines et leur retour dans un état d'entropie augmenté. Tel ce village à propos duquel il a été dit « bientôt, tout ceci ne sera que ruines sous l'eau », sur le site du barrage des Trois-Gorges sur le Yang-Tsé⁷¹.

Et si les collapsologues prédisent l'effondrement de notre civilisation en s'appuyant sur une armada d'arguments⁷², nous suggérons à nos lecteurs de revoir le documentaire de David de Fries « *Et quand notre civilisation s'arrêtera ? Une vie après l'homme* », certes fictif mais tout à fait intéressant quant aux traces stratigraphiques que pourraient laisser l'Anthropocène dans un tel scénario, au bout de peu d'années, de quelques dizaines d'années, de quelques milliers d'années... Une perspective pas totalement irréaliste, si l'on considère qu'elle est déjà à l'œuvre en divers points du globe. Comment ne pas évoquer la région de Tchernobyl, ou l'île d'Hashima, au large du Japon.

⁷⁰ "The structures created by humans—houses and factories, roads and cars, tools ranging from knives to computers, are also commonly potentially preservable, and may also be considered to be trace fossils. They have been termed *technofossils*...",

ZALASIEWICZ J., WILLIAMS M., WATERS C.-N., BARNOSK A. D. et HAFF P. The technofossil record of humans. *Anthropocene Review* 1, 2014, p.34–43. <http://dx.doi.org/10.1177/2053019613514953>.

ZALASIEWICZ J. et WATERS C., *The Anthropocene*, http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/513436/1/The Anthropocene_for NORA.pdf

⁷¹ « Les éternels », film de Jia Zhang-ke, 1919.

⁷² SERVIGNE P. et STEVENS R., *Comment tout peut s'effondrer*, Seuil, 2015.

III - Une minéralogie de l'Anthropocène ! (pour mémoire)

Nous indiquons ce paragraphe pour mémoire, en effet il fait l'objet d'une publication à part⁷³, et par ailleurs son positionnement dans les vestiges « macroscopiques » voire géologiques de l'Anthropocène est d'une nature discrète et subtile. Dans cette catégorie se rangent pour commencer les espèces minérales *néoformées* dans les anciennes galeries de mines : ce sont des minéraux, donc d'authentiques matériaux géologiques. Ils sont cependant redevables à l'action de l'homme d'exister. Il en va de même des minéraux des houillères embrasées. On entend par là les terrils des mines de charbon, décrits dans notre paragraphe A.1. Dans leur sein, des réactions chimiques exothermiques entretiennent le feu, générateur de fumerolles qui déposent, aux exutoires de leurs cheminements, des espèces minérales d'une extraordinaire diversité, la plupart semblables à celles que la nature fabrique elle-même en d'autres milieux.

Un domaine différent est celui des résidus de la métallurgie, qui forment les crassiers décrits également en A.1. Ces scories, mais aussi une foule de matériaux plus discrètement représentés dans les tas de résidus, sont des produits artificiels obtenus à travers un procès industriel. Leur nature n'en reste pas moins totalement minérale, et leur structure évoque celle des laves ; par exemple la *fayalite*, qu'on trouve dans certaines roches volcaniques, et même dans des météorites, est une des espèces constitutives des scories.

Ces dernières cependant contenaient des gaz, il en résulte une structure bulleuse. En leur sein, ces bulles au fil du temps offrent leur hospitalité à la cristallisation d'une véritable « flore » de minéraux néoformés. Rajoutez à cette panoplie les minéraux de *néoformation* dans les épandages de résidus des industries de la chimie. Enfin la tentation est forte d'y adjoindre les minéraux constitutifs des céramiques, d'authentiques espèces que la nature fabrique pareillement dans ses propres laboratoires ; en effet les schistes argileux soumis à un processus de cuisson – appelé *métamorphisme de contact* – au contact d'un granite se métamorphosent en *cornéennes* (à aspect de corne !), dont la composition reflète celle de nos céramiques. Nous en arrivons de même aux objets métalliques abandonnés dans leur positionnement archéologique stratigraphique – par exemple un dépotoir – et soumis aux processus naturels d'oxydation : les nouvelles *spéciations* de ces métaux les transforment en espèces minérales !

Quid de l'hydrosphère ?

Sans nul doute, nous nous devons de prendre en considération l'hydrosphère, dans la mesure où l'eau répond à la définition d'une espèce minérale ! Sous sa forme solide, la

⁷³ FLUCK P., Une minéralogie de l'Anthropocène, HAL Archives ouvertes, 2019.

glace, elle peut même être assimilée à une entité stratigraphique. La fonte des glaciers génère alors des unités stratigraphiques négatives !

«... je finis la 1^e partie de mon *Histoire des eaux de l'écorce terrestre*, où j'étudie au point de vue minéralogique et géochimique ce groupe des plus importants de minéraux. Il est étonnant qu'on ait tellement délaissé ce vaste domaine. Après Haüy il me semble que personne ne l'ait abordé au pt de vue minéralogique », *Vladimir Vernadsky, lettre à Alfred Lacroix, le 21 mars 1930 ; Archives de l'Académie des Sciences de Paris. ...*[Illustr 40]

Une considération qui s'inscrit davantage dans l'épistémologie sociale nous conduit à relever que l'hydrosphère (et en particulier les océans) comme l'atmosphère sont généralement associées à la géosphère dans les regroupements de programmes du CNRS ou de la recherche universitaire.

A ce stade interviennent, au fil de notre réflexion, les réaménagements de cours d'eau et leurs impacts. La canalisation du Rhin ou le pompage des ressources autour d'Almeria, pour les cultures sous serres, se traduisent par la baisse des nappes phréatiques, et donc des réajustements forcés dans la rhéologie des alluvions. La rectification des cours d'eau transforme le régime des crues, et partant leurs dépôts de « fines » argilo-limoneuses. Faut-il rappeler que le barrage Hoover sur le Colorado, et une quantité d'autres, se sont accompagnés de conséquences environnementales dramatiques ?

Conclusions

Même si la plupart des chercheurs se le représentent comme un concept systémique du « système Terre », l'Anthropocène n'en reste pas moins une époque, une tranche chronologique de l'histoire de la Terre. Cet article se veut une tentative de revue des traces stratigraphiques dues à l'action des hommes. Pendant ce temps, la nature continue son œuvre gradualiste. Quelquefois même il arrive qu'elle recouvre les fameuses US édifiées par l'Homme (nous avons cité les exemples de Pompéi, d'Akrotiri ou de Heimaey).

Nous avons insisté, au long de cet article, sur l'étrange similitude des postures, et des démarches, des géologues et des archéologues. Tous deux font au paramètre « temps » la place de choix. Tous deux pratiquent la prospection ou le levé de cartes, s'appuient sur des vues aériennes ou satellite, pratiquent la fouille (éventuellement en carrières !), raisonnent en termes de stratigraphie, usent de méthodes descriptives proches de la pétrographie, font intervenir des techniques de datations absolues. Leurs échelles de temporalités certes ne sont pas les mêmes, celle des géologues se démultiplie d'un facteur 1000. Leurs objectifs cependant se recouvrent : restituer le passé, le fonctionnement de la géosphère en interaction avec la biosphère pour la géologie, l'archéologie rajoutant l'homme dans ce « jardin ». C'est au prix de l'unification de ces paradigmes qu'une stratigraphie de

l'Anthropocène pourra s'esquisser, telle que nous en avons exposé quelques bases dans cet article.

Les entités stratigraphiques recensées dans cet article ne sont pas forcément ce qu'il y a de plus spectaculaire, ou tout du moins de plus dommageable, dans l'évolution de nos sociétés à venir. Les impacts sur la biosphère des activités humaines le sont sans doute bien davantage, qui mobilisent l'essentiel des travaux des chercheurs de l'Anthropocène : extinctions d'espèces, dégringolade de la biodiversité, déforestations massives, acidification des océans, agriculture extensive au détriment des bocages... et leurs conséquences. Il n'en reste pas moins que les impacts de ces « unités stratigraphiques extensives » que sont les sols souillés ou les sous-sols drainés par des nappes contaminées, qui tentent de se dérober au regard de l'observateur, privent l'humanité à venir des terres arables et fertiles indispensables à la vie. Car ces atteintes ont pour propriété la durabilité ! Il en va de même pour l'importance du « lâcher de plastiques » sur toute l'étendue du globe⁷⁴.

Mais l'investigation de ces visages de souffrance de la biosphère ne s'inscrit pas forcément dans la stricte démarche du géologue (de l'archéologue, si). Elle exige que soit déployé le prisme des sciences de l'environnement. Qu'est-ce alors que l'*écologie*, comprise comme démarche scientifique ? Elle n'est pas une science au même titre que la géologie ou l'archéologie. C'est une science complexe car issue d'une approche qui croise les disciplines, nous dirions plutôt un **champ disciplinaire**. Celui-ci se caractérise par son objet et par sa méthode. **L'objet** est la surface de la Terre dans une perspective dynamique ou évolutive, mais il peut aussi se restreindre à un système choisi, un milieu (les écosystèmes se caractérisent par une disparité d'échelles infinie). **La méthode** analyse les interactions entre société humaine, biosphère, hydrosphère, atmosphère et géosphère, elle est par la même contrainte à ce croisement disciplinaire.

Etienne Klein, *Allons-nous liquider la science ?*, p. 110 « *Même averti, éclairé, sermonné, (l'Homme) continuera de saccager les ultimes ressources naturelles et provoquera des bouleversements irréversibles de l'environnement.* » (l'auteur, exprimant l'opinion des collapsologues)

⁷⁴ Nous n'évoquons pas ici les « continents de plastique ». Ce ne sont pas de véritables entités stratigraphiques, mais des concentrations épaisses et immensément vastes de débris rassemblées par des gyres ou vortex.

ILLUSTRATIONS :



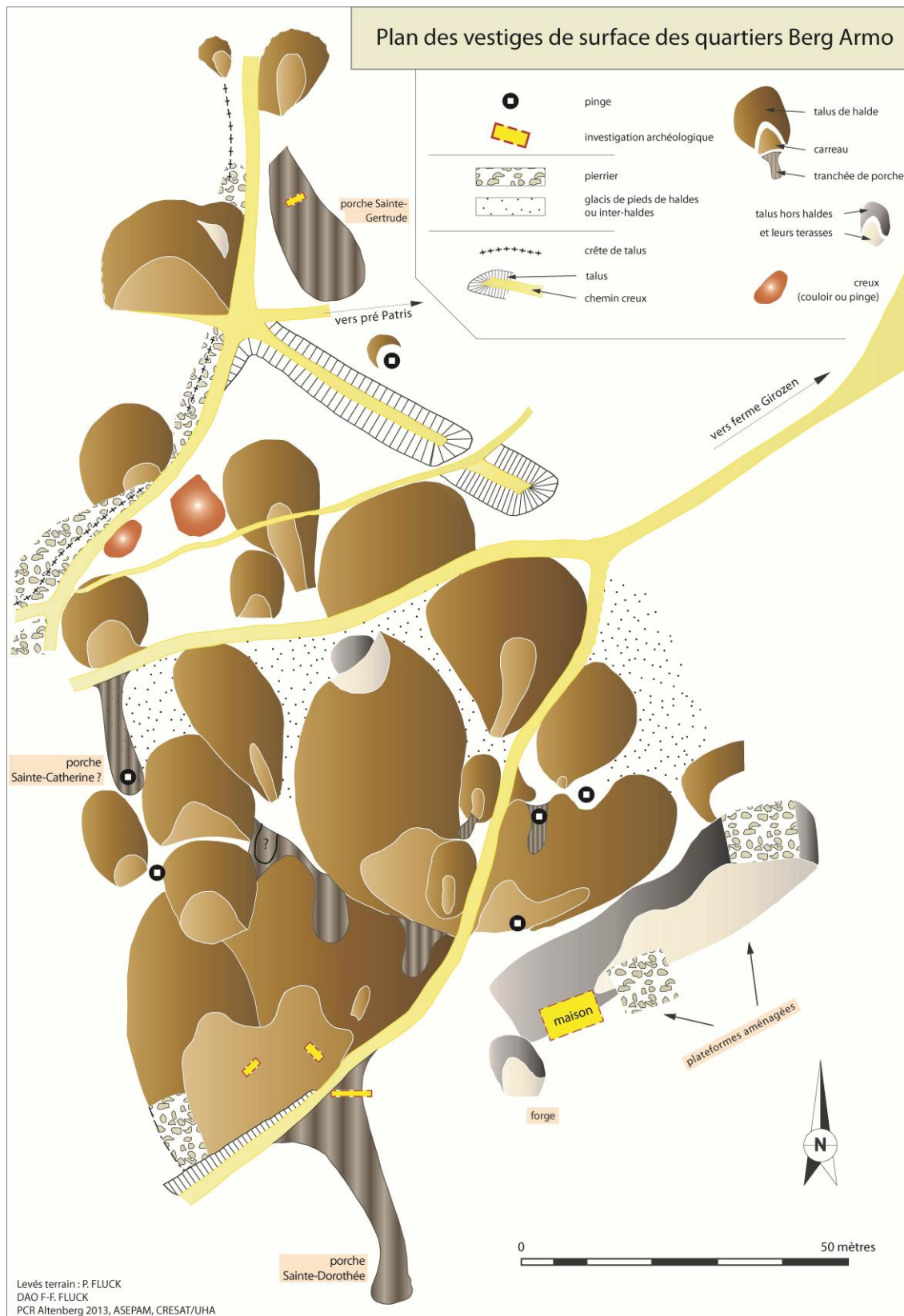
1 une halde à Giromagny (Vosges méridionales). Elle contient des roches volcaniques, des brèches de failles, des gangues (quartz, fluorite...), des minerais (cuvres gris, galène, secondaires...). Photo P. Fluck



2. les petites haldes des exploitations alluvionnaires d'étain, à Bozi Dar, en Bohême, photo P. Fluck



3. Le terril du puits Couriot, dominant la ville de Saint-Etienne, photo P. Fluck



4. Le relevé topographique des haldes du quartier minier dit du Mont Armont, ou *Berg Armo*, à l'Altenberg (Ste-Marie-aux-Mines, Alsace), un essaim de mines des XIV^e et XVI^e siècles. Prospection 2013, DAO F.-Florimond Fluck.

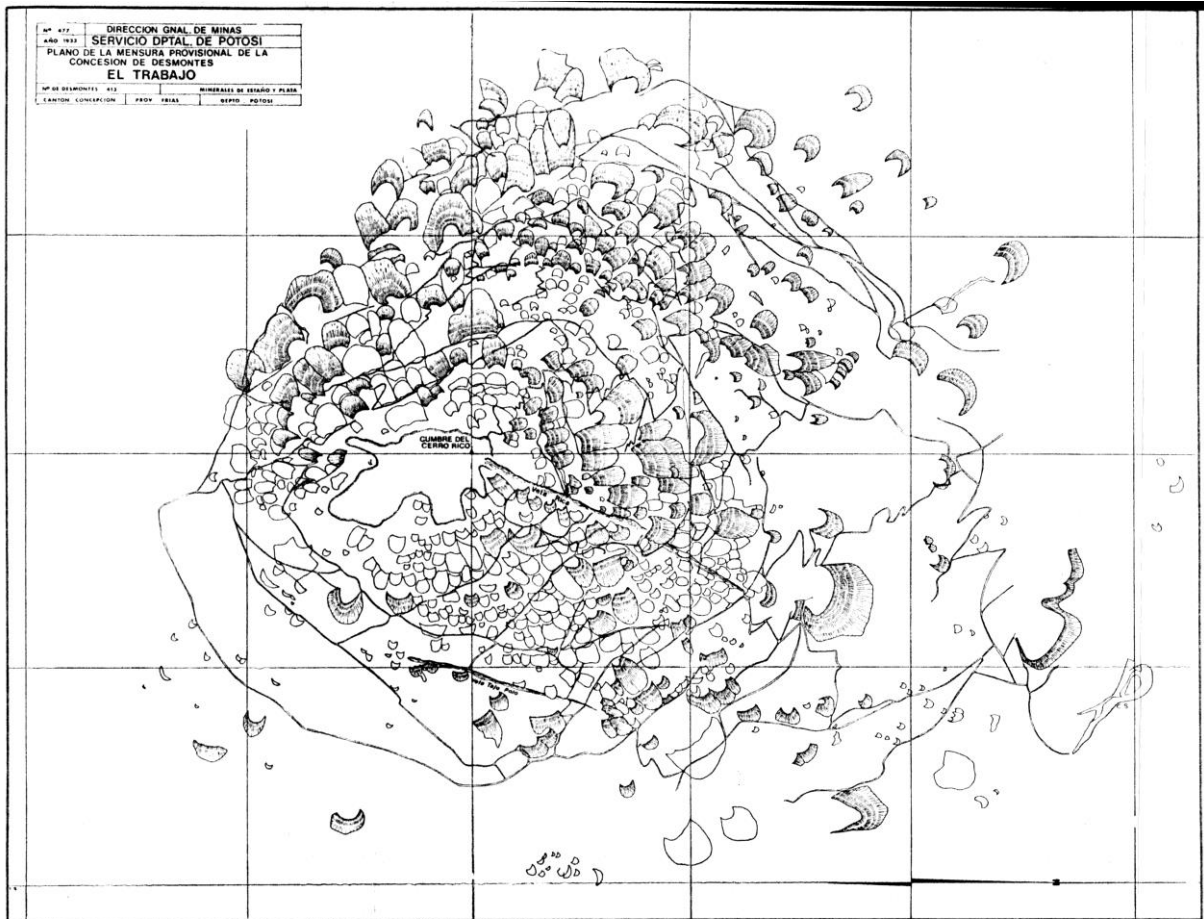
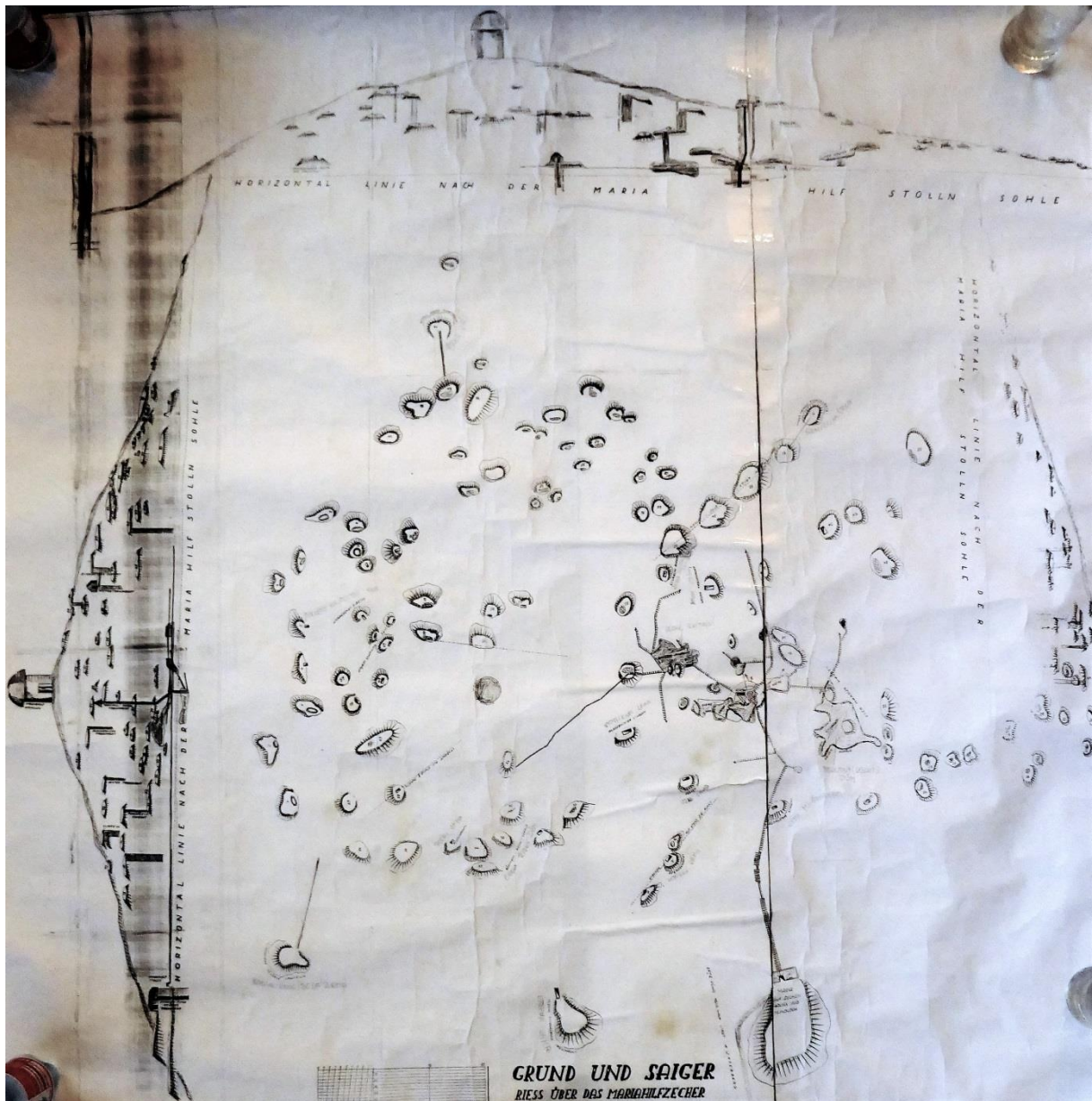


Fig. II.—Plan des mines du Cerro de Potosí. Chacun des 433 cônes de déblais correspond à une mine. Leur forme épouse la convexité de la montagne. (Dirección general de minas: plano 477 de la concesión de desmontes. 1933. Courtoisie de la Comibol)

5. La carte des 433 haldes du Cerro Rico de Potosi, en Bolivie, document de 1933



6. Une vieille carte minière de Mednik Hill (Kupferberg), en Bohême : plan du réseau, entouré de trois représentations en coupes verticales, photo P. Fluck



7. Paysage des haldes de la Wismutgesellschaft, près de Schneeberg (Saxe), photo P. Fluck



8. Phénomènes d'érosion dans la halde de résidus de lavage de Taxco, Mexique, photo P. Fluck



9. Résidus stratifiés d'une laverie de minerais (fin XV^e s.), Sainte-Marie-aux-Mines, fouille 2011, photo P. Fluck



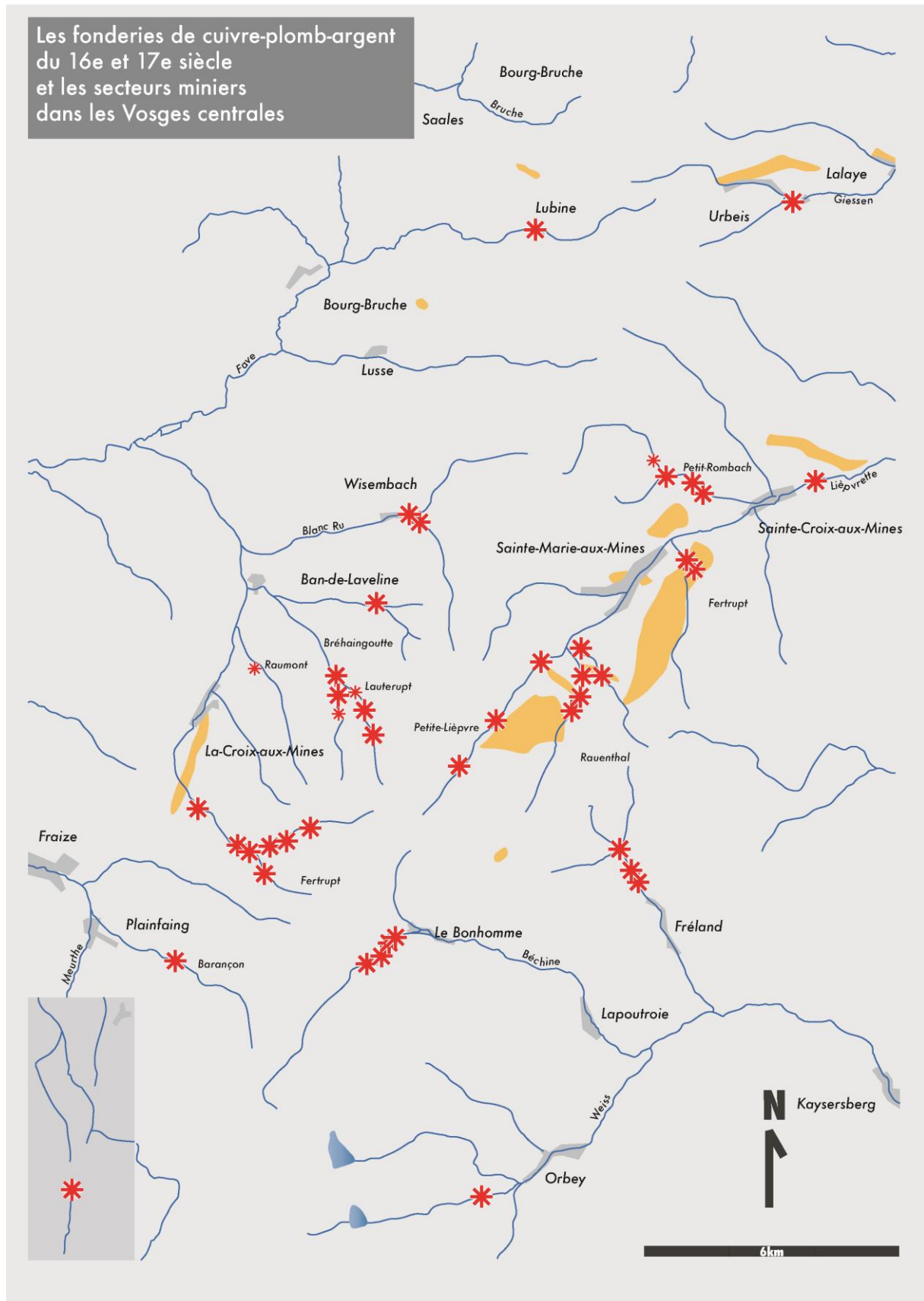
10. Halde de résidus de lavage à Linarès (Espagne), ravinée par les eaux de ruissellement, photo P. Fluck



11. Une scorie de fer, Hüttenberg Carinthie, photo P. Fluck



12. Un laitier de haut-fourneau (env. 5 cm), XIX^e siècle, Masevaux (Haut-Rhin), photo P. Fluck



13. Carte archéologique des 55 fonderies *Renaissance* des Vosges centrales (France de l'Est), levés P. Fluck, DAO F.-Florimond Fluck



14. Le front méridional du crassier à scories de Rio Tinto (Espagne), photo P. Fluck



15. Le crassier à scories, laitiers, mâchefers et résidus de la fonderie André Koechlin (devenue Société Alsacienne de Constructions Mécaniques), à Mulhouse, dit *Cokruri* ; il occupe une emprise d'environ 200 x 90 m. La photo montre un « affleurement » créé par le tracé d'un chemin ; on y voit les différentes couches de déversement des matériaux, les dernières s'ajustant horizontalement sur le dessus. L'affleurement mesure env. 4 m. Photo P. Fluck



16. La halde à scories de Røros (Norvège), photo P. Fluck



17. Paysage du Rio Tinto, au premier plan les glais résultant de la calcination des pyrites. Photo P. Fluck



18. Paysage du Rio Tinto, au milieu de l'image, vers le haut, restes d'une cheminée rampante ; au centre, allongé horizontalement, le crassier à scories ; au premier plan (couleurs lie de vin) restes des *terreros* ; photo P. Fluck



19. Tessonnier à Briare, photo P. Fluck



20. Vaisseaux en céramique pour la distillation du mercure, musée d'Idrija (Slovénie), photo P. Fluck



21. Paysage issu de la calcination des lignites à Bouxwiller (Bas-Rhin), photo P. Fluck



22. L'affleurement d'un gisement de bauxite aux Baux (Provence), photo P. Fluck



23. La ville d'Idrija (Slovénie), photo P. Fluck



24. Idrija, accumulation de tessons de poterie industrielle, photo P. Fluck



25. La fonderie de l'Escalette, à Marseille ; remarquer, dans le haut de l'image vers la droite, le tracé en baïonnette de la cheminée rampante ; photo P. Fluck



26. Barge pour l'exploitation de l'or sur le Maroni, en Guyane, photo P. Fluck



27. Usine à Baia Mare (Roumanie), photo P. Fluck



28. Cartographie partielle de charbonnières dans la région de Giromagny (Territoire-de-Belfort), levés R. Guillaume (Association Histoire et Patrimoine Sous-Vosgiens)



29. La colline de Sion-Vaudémont (Lorraine), photo P. Fluck



30. Rome, le forum de Trajan, photo P. Fluck



31. L'Erzberg, en Styrie, photo P. Fluck

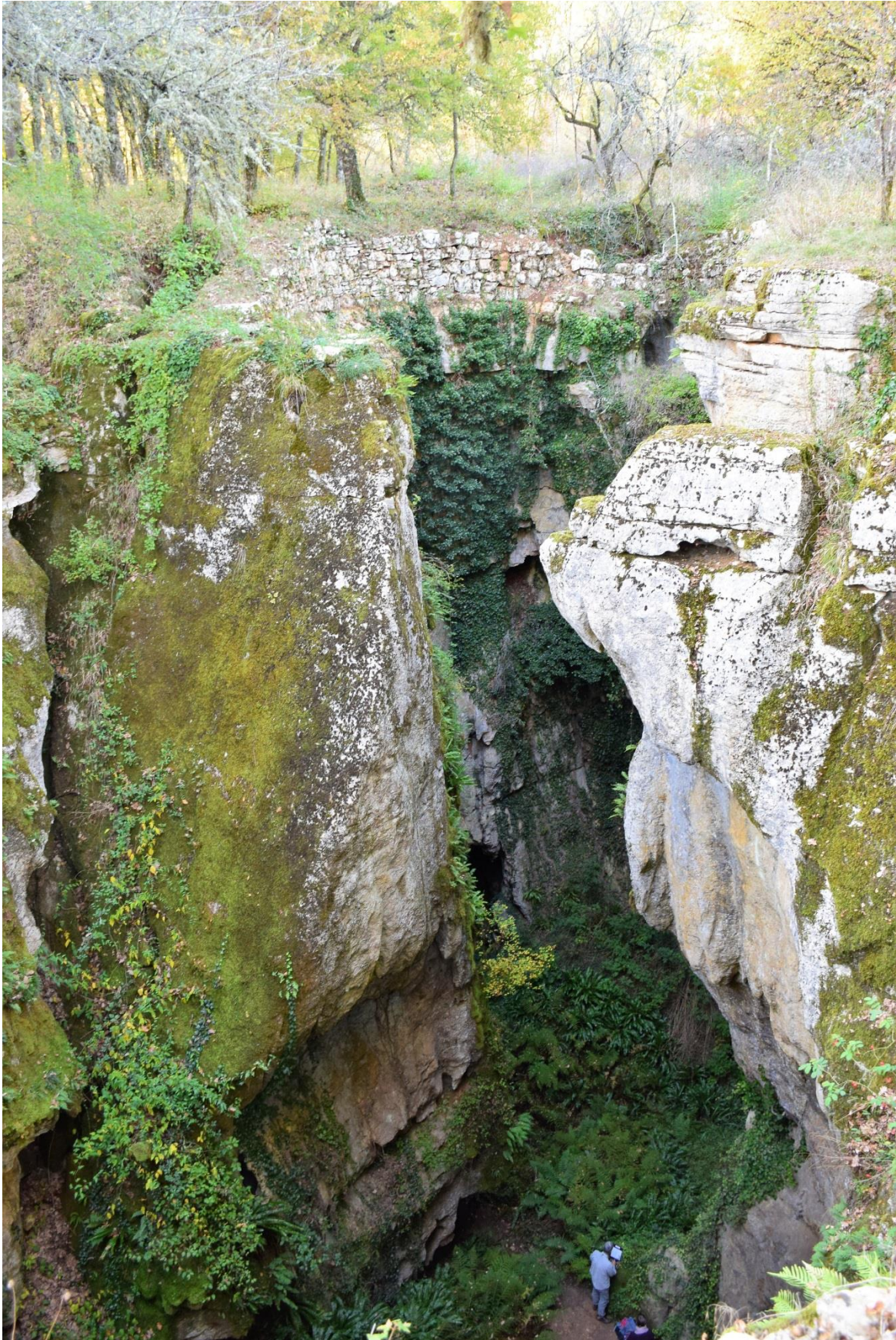


32. Le « Colorado Provençal », à Rustrel, photo P. Fluck



Minière de zinc dans l'Iglesiente, Sardaigne

33. Une minière de calamine en Sardaigne, photo P. Fluck



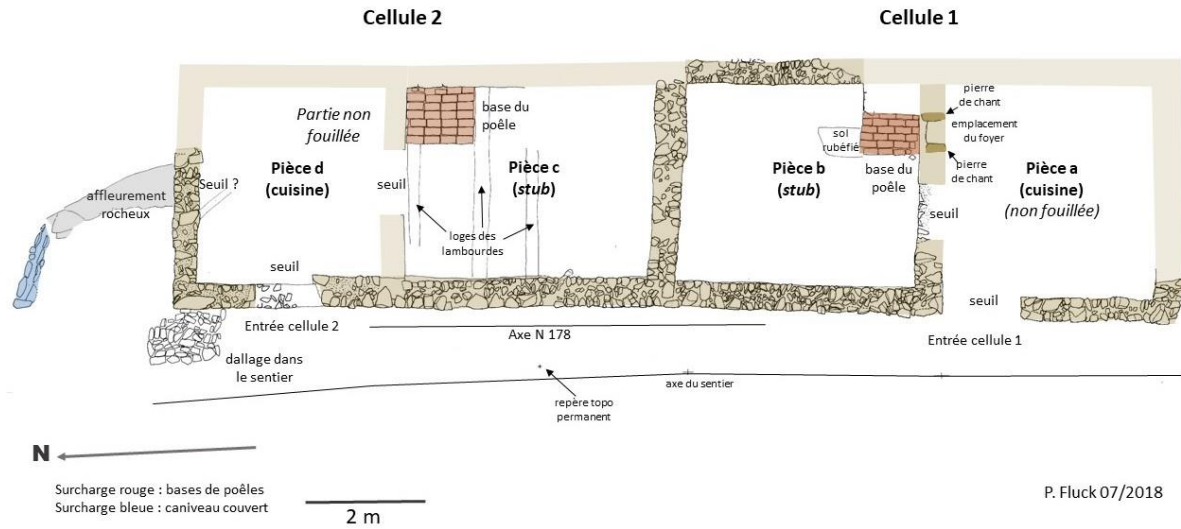
34. la mine de cuivre de Falun (Suède), effondrement minier ancien, repris tardivement comme un « ciel ouvert » à gradins, photo P. Fluck



35. Une phosphatière dans le Quercy (Lot), photo P. Fluck



36. Un détail du front de taille de la « carrière à chaux » de Saint-Philippe, à Ste-Marie-aux-Mines. Ce très beau marbre blanc, cristallin, quelquefois chargé de minéraux, fut exploité dès le XVI^e siècle pour la production de chaux. Des géologues du monde entier – Guettard, Lavoisier, Monnet, Jung, Teilhard de Chardin – rendirent visite à cette carrière historique. En haut de l'image, le « toit » du calcaire, fait de gneiss à grenat. À mi-hauteur, une lentille d'amphibolite. Hauteur de la photo env. 2 m. Photo P. Fluck.



37. Le site FCB1, à la Fouchelle, Ste-Marie-aux-Mines : un bloc de deux maisons ou cellules d'habitation qui s'intègre dans une cité ouvrière du XVI^e siècle, hébergeant des mineurs, des fondeurs et leurs familles. Ces vestiges ont été retrouvés enfouis sous la couche de colluvionnement de matériaux de versant. Fouille (2018), relevé et DAO P. Fluck



38. Village aux maisons monolithiques dans le sud marocain, photo P. Fluck



39. « L'usine du bout du Monde », Djúpavík (Islande), photo P. Fluck

VERNADSKY

21 mars 1930

21 III 930

St. Petersbourg



Mon cher ami,

Je Vous remercie de Votre lettre si cordiale. Cela m'a fait un grand plaisir que Vous ayez lu mon livre. Votre opinion m'est si chère.

Je finis la première partie de mon "Histoire des eaux de l'écorce terrestre" - où j'étudie au point de vue minéralogique et géochimique ce groupe des plus importants des minéraux. Il est étonnant qu'on ait tellement délaissé ce vaste domaine. Après Haüy il me semble que personne ne s'est occupé au point de vue minéralogique.

C'est un terrain presque vierge et cependant les données exactes - il est vrai prises au hasard - abondent.

Je travaille avec un profond intérêt et entrain, car je crois arriver à des conclusions vastes, qui me paraissent ouvrir des voies nouvelles à la recherche. On peut en tirer des conclusions, non moins importantes au point de vue des exigences de la vie humaine.